

## **MANYETİK AKI KAÇAKLARI YÖNTEMİYLE ELEKTRİK KAYNAKLARININ KALİTE KONTROLÜ**

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

**ÖZET** : Endüstriyel uygulamalarda kullanılan levha şeklinde demir malzemelerdeki elektrik kaynaklarının kalite kontrolü için üç boyutta tarama yapan tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve algılayıcıdan oluşan bir manyetik tahribatsız test düzeneği geliştirilmiştir. Kaynaklı örnekler, frekansı  $f=500\text{Hz}$  ve akım değeri  $I=0.8\text{A}$  olan ac akımla manyetize edilmiştir. Örneğin yüzeyi üç boyutta taranarak manyetik akı kaçakları belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre kaynak bölgesindeki üç boyutlu akı davranışı belirlenmiş ve buna bağlı olarak kaynağın kalite kontrolü yapılmıştır. Bu makalede manyetik tahribatsız test düzeneğinin kaynak kalitesinin kontrolünde kullanımı ve uygulama sonuçları tartışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER** : Manyetik Tahribatsız Test Sistemi, Kaynak, Tarayıcı Sistem

## **INSPECTION OF ELECTRIC WELDING WITH MAGNETIC FLUX LEAKAGE TESTING**

**ABSTRACT** : A magnetic non-destructive testing system was constructed to check quality of the electric weldings on iron laminations for industrial applications. System magnetized by an ac current at  $f=500\text{Hz}$  and  $I=0.8\text{A}$ . Surface of the samples were scanned at three dimensions to capture surface leakage flux. The captured data is analyzed to get flux profile around welding region. Quality of the weldings were examined by analyzing surface leakage flux profile for industrial applications. In this paper, findings about quality control of electric weldings by detection of surface leakage flux will be presented.

**KEYWORDS** : Magnetic Non-destructive Testing System, Weld, Scanner System.

---

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

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

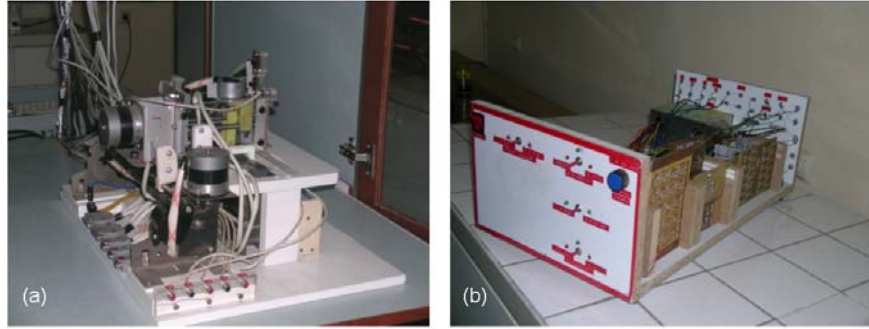
## ***I. GİRİŞ***

Endüstriyel uygulamalarda 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 kaynakların 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 parçaya monte edilmelidir. Bu doğrultuda bu çalışmada manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik ölçme düzeneği kurulmuştur. Kurulan bu düzencekle manyetik özelliği olan ve basınçlı tanklarda kullanılan levhaların kaynatılmasıyla hazırlanan örnekler test edilmiştir.

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

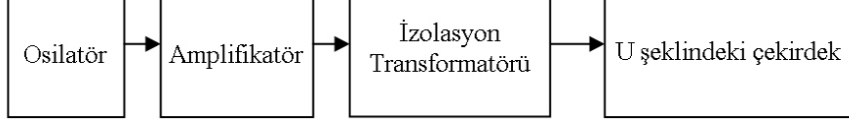
## ***II. MANYETİK ÖLÇME DÜZENEGİ***

Manyetik akı kaçakları testi için tasarımı yapılan Manyetik ölçme düzeneği, 3D Tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik üniteden oluşmaktadır. Bu elemanların resimleri sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 1).



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

3D tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, cıva çeliği, plexiglass ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. 3-D Tarayıcı sistem, sensörün üç boyutta hareketini sağlayan hareket edebilen parça ile manyetize edici sistemden oluşmuştur. Bu çalışmada osilatör, amplifikatör, 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 4’de verildiği gibi 3-D Tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik sistem kabin içine yerleştirilmiştir.



**Şekil 4.** Manyetik ölçme düzeneği.

### ***III. DENEYSEL ÇALIŞMA***

#### ***III.1 Verilerin Toplanması***

Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan elektrik kaynaklarının herbiri için uygulanan işlem sırası :

1. Kaynağın 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 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 düzeneği, z konumu farklı olan x-y düzlemlerinde hareket ettirmekte ve x ekseninde istenilen noktalarda veri alınmasına müsaade etmektedir. Bu çalışmada, kaynak bölgesinde modelin yüzeyinin x-y düzleminde  $30 \times 18 \text{ mm}^2$ 'lik alanı taranmıştır. Programın bitimde 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 (Bu çalışmada kaynak bölgesinde farklı y koordinatlarında, modelin yüzeyinden itibaren x-z düzleminde  $30 \times 9 \text{ mm}^2$ 'lik alan taranmış ve z ekseninde 0.45 mm aralıklarla veri alınmıştır. Programın bitimde açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.),
  9. Tarama işleminden sonra, modeldeki çatlığın her iki tarafına 5'er sarımlık bobin sarılması ve bu sayede kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının miktarının tespit edilmesi
- şeklinde verilmektedir.

### ***III.2 Test Edilen Elektrik Kaynak Örnekleri***

Bu çalışmada basınçlı tanklarda kullanılan levha şeklindeki 3 mm'lik saçların değişik şekillerde kaynak yapılmasıyla test edilecek örnekler oluşturulmuştur. Örnek modellerin kaynak yapılmış bölgelerinin test edilmesiyle, kaynak içinde oluşabilecek süreksizliklerin fiziksel özelliklerini ve kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışının nasıl olduğunu bulmak amaçlanmıştır. Bu amaçla

her model Hall etkili sensörle test edilmiştir. Bu modeller 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.

Bu çalışmada test edilen örneklere, test edilme sırasına göre Model 1, Model 2 gibi isimler verilmiştir. Deneysel çalışmada test edilen elektrik kaynak örneklerinin listesi test edilme sırasıyla Çizelge 1'de verilmektedir.

**Çizelge 1.** Test edilen elektrik kaynak modelleri.

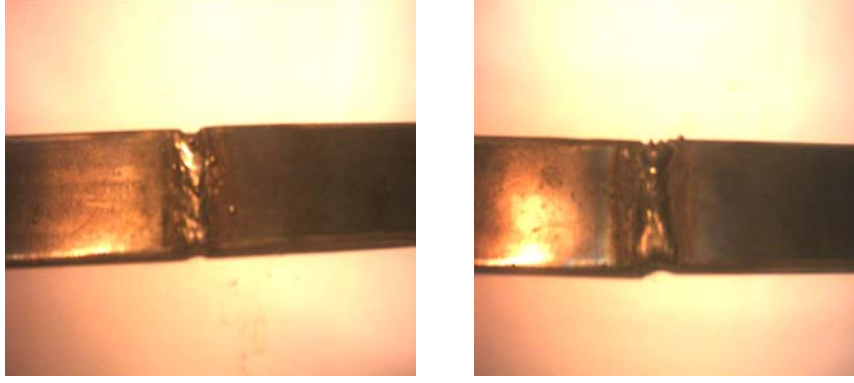
Test Edilme Sırası	Elektrik Kaynak Modelleri
1	Model 1
2	Model 2
3	Model 3
4	Model 4
5	Model 5
6	Model 6

Bu çalışmada Çizelge 1'de verildiği gibi 6 değişik elektrik kaynak modeli üzerinde durulmuştur. Bunlardan,

1. Model 1, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine temas eder pozisyonda iki taraftan da kaynatılması ve sonrasında iki tarafın da parlatılmasıyla,
2. Model 2, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine temas eder pozisyonda tek taraftan kaynatılması ve sonrasında parlatılmasıyla,
3. Model 3, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine temas eder pozisyonda tek taraftan kaynatılmasıyla,
4. Model 4, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine temas eder pozisyonda çift taraftan kaynatılmasıyla,
5. Model 5, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine 3 mm uzaktayken tek taraftan kaynatılmasıyla,

6. Model 6, Levha şeklindeki 3 mm'lik saçların birbirlerine 3 mm uzaktayken çift taraftan kaynatılmasıyla oluşturulmuştur.

Aşağıda bu modellerden Model 5'in üstten ve alttan çekilmiş resimleri gösterilmektedir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Model 5 isimli elektrik kaynak modelinin önden ve arkadan görünümü.

Şimdi sırasıyla test edilen elektrik kaynak örneklerinden elde edilen bulguları inceleyelim.

### ***III.3 Bulgular***

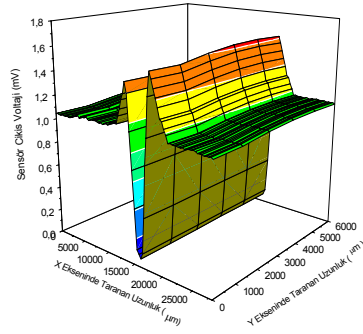
Bu çalışmada 6 değişik elektrik kaynak modelini test etmemizde 7 ana amaç bulunmaktadır. Bunlar,

1. Ön ve arkadan bakıldığında sağlam gibi duran, fakat farklı iki manyetik geçirgenliğe sahip olan bu örnekte, manyetik geçirgenliğin farklılaştığı bölgelerin belirlenmesi;
2. Levhalar kaynak yapılırken hangi pozisyonda ve aralarındaki mesafenin ne olduğunun belirlenmesi;
3. Örnekte kaynak bölgesinin manyetik geçirgenliğinin hava ortamına göre büyük olmasının kaçak manyetik akının davranışını nasıl etkilediğinin belirlenmesi;
4. Örnekteki kaynağın kalitesinin ve kaynağın üst yüzey görünümünün belirlenmesi,
5. Kaynağın kalınlığının Hall sensörün çıkış voltajına etkisinin belirlenmesi,

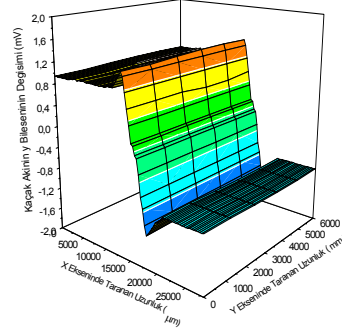
6. Kaynağın parlatılmamasının kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışına olan etkisinin belirlenmesi;
7. Kaynağın parlatılmamasının, kaynak genişliğinin ve kalınlığının Hall sensörün çıkış voltajının davranışına olan etkisinin belirlenmesidir.

Bu amaçlar doğrultusunda tüm elektrik kaynak örneklerine, yukarıda bahsedilen veri toplamadaki işlem basamakları uygulanmıştır. Her model için Hall sensörle elde edilen veriler ışığında,

- a. Modelin yüzeyinin x-y taraması sırasında Hall sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafiği;
  - b. Modelin yüzeyinin x-y taraması sırasında kaçak manyetik akının y bileşeninin x-y konumuna değişim grafiği;
  - c. Modelin x-z taraması sonucu, Hall sensörün çıkış voltajının x eksenine bağlılığı;
  - d. Modelin kaynak bölgesinde kaçak manyetik akı davranışının 3 boyutlu davranışı;
  - e. Modelin kaynak bölgesinde kaçak manyetik akı davranışının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiği;
  - f. Modelin yüzeyinin x-y taraması sırasında Hall sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiği
- incelenmiştir. Test edilen örneklerden Model 5 için ilgili grafikler aşağıda aynı sıra ile verilmiştir (Şekil 6).

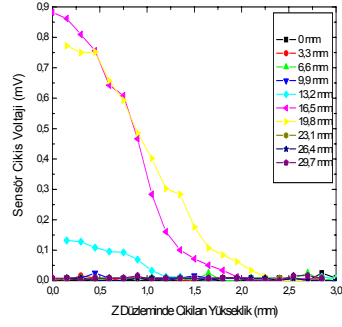


(a)

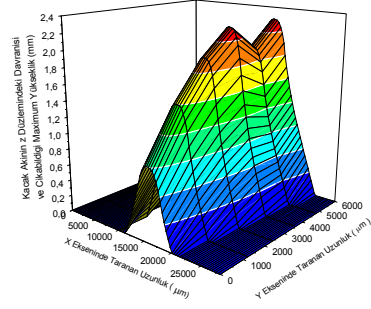


(b)

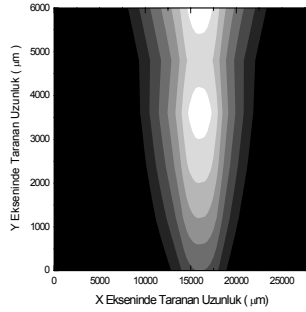




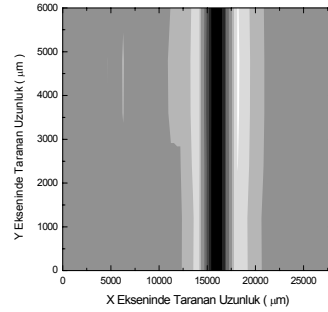
(c)



(d)



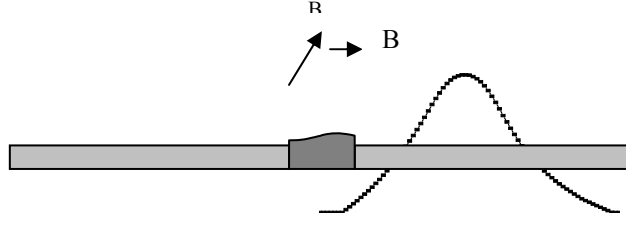
(e)



(f)

**Şekil 6.** Model 5 isimli elektrik kaynak modelinde hall sensörle elde edilen verilerin grafikleri.

Şekil 6a'ya bakıldığında, Hall sensörün çıkış voltajının Model 5 isimli kaynak modeli için kaynak merkezi civarına kadar arttığı, kaynağın merkezinde sıfıra indiği ve sonrasında kaynak merkezinden uzaklaştıkça tekrar artıp azaldığı görülmektedir. Hall sensörün çıkış voltajının bu şekilde değişimi kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışının Şekil 7'deki gibi olacağını bize göstermektedir. Çünkü Hall sensörde indüklenen voltajın büyüklüğünü kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının y bileşeninin zamanla değişim büyüklüğü belirlemektedir. Dolayısıyla Hall sensörün çıkış voltajının bu değişimini Şekil 7'deki gibi kaçak manyetik akı davranışı verebilir.



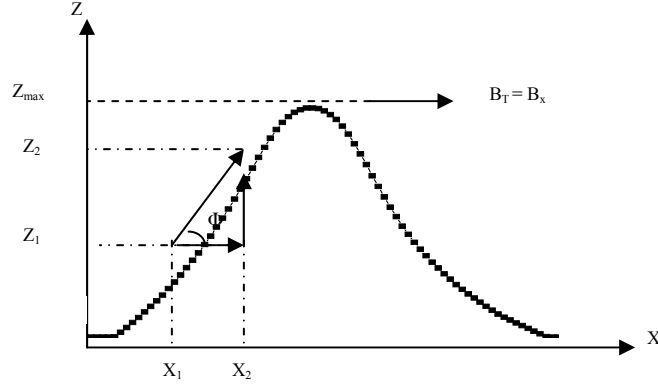
Şekil 7. Kaynak bölgesinde kaçak akının x eksenine boyunca davranışı.

Deneysel çalışmada, modelin kaynak merkezi önceden belirlediğimiz bir noktaya getirildikten sonra x-y taraması yapılmıştır. Model 5 isimli elektrik kaynak modeli için belirlenen kaynak merkezinde Hall sensörün çıkış voltajının sıfıra gittiği belirlenmiştir. Bu durum, kaynağın merkezinde kaçak manyetik akının y bileşeninin sıfıra eşit olduğunu göstermektedir. O halde herhangi bir kaynatılmış doğal örnekte kaynağın merkezini bulabilmek için örnek yüzeyinin x-y taramasında Hall sensörün çıkış voltajının sıfır olduğu noktayı tespit etmek yeterli olacaktır.

Bunun yanısıra Hall etkili sensörün çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların oluşturduğu şekil, levhaların kaynatılma pozisyonunu belirlemektedir. Dolayısıyla Şekil 6a grafiğine bakıldığında, modelin kaynak merkezinin 16000 µm civarında ve levhaların kaynatılma pozisyonunun y eksenine paralel olduğu söylenebilir. Ayrıca Şekil 6f'de verildiği gibi, modeldeki levhaların kaynatılma pozisyonunu ve kaynağın merkezini Hall sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiklerinden yararlanarak doğrudan bulmakta mümkündür.

Bunun yanısıra Şekil 6a grafiğinde Hall sensörün çıkış voltajının maksimum olduğu iki pik arasındaki uzaklık, kaynak genişliğini ya da diğer bir deyişle, manyetik geçirgenliğin değişiklik gösterdiği bölgeyi göstermektedir. Eğer kaynak sadece düzgün yapıldıysa, yani levhaların üzerine kaydırılmadıysa, özel olarak grafikteki iki pik arasındaki mesafe, levhalar kaynatılmadan önce

aralarındaki mesafeyi de vermektedir. Şekil 6’de ise iki pik arası hemen hemen siyah çizginin kalınlığına isabet etmektedir. Bu şekilde de kaynağın genişliği bulunabilmektedir. Ayrıca Şekil 6’de siyah çizginin çevresinde siyah beneklerin ya da siyah bölgelerin olmaması temas bölgesinin dışında kaynak içinde herhangi bir süreksizliğin veya hava ortamının olmadığını bize göstermektedir. Çünkü kaynak içinde kalacak hava boşlukları farklı bir manyetik ortam doğuracağından kaçak akının o bölgedeki davranışı değişecek ve dolayısıyla Hall sensörün çıkış voltajının karakteristiği değişecektir.



**Şekil 8.** Kaçak akının x-z düzlemindeki davranışı.

Kaçak akının konumunun x-z düzlemindeki değişimi, Şekil 8’de verildiği gibi bu akının kendisi ile y bileşeni arasındaki değişimi belirlemektedir. Kaçak manyetik akının uzayda korunduğu varsayılırsa,

$$\sin\phi = \frac{B_y}{B_T} = \frac{B_y}{B_x} = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \quad (1)$$

ifadesi yazılabilir. Bu ifade de  $Z_2$ 'yi çekersek,

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

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

Bu çalışmada 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 bağıntıyla 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 ettirirsek kaçak manyetik akının x-z düzlemindeki tüm konumları bulunabilir. Bu sayede kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki davranışı simüle edilebilir.

Bu doğrultuda tüm modellerde olduğu gibi, Model 5 isimli modelin kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışını tespit etmek için, modelin yüzey taraması sırasında Hall sensörün çıkış sinyalinin integre edilmesiyle kaynak bölgesinde kaçak manyetik akının y bileşenin değişim grafiği tespit edilmiş ve Şekil 6b'de gösterilmiştir. Bu çalışmada algılayıcı olarak kullanılan Hall etkili sensör 1 Gauss'luk alanda 1.06 mV çıkış vermektedir. Bu yüzden Şekil 6b grafiğinde istenilen konumda, kaçak manyetik akının y bileşenin değeri tesla (T) birimine çevirmek için,

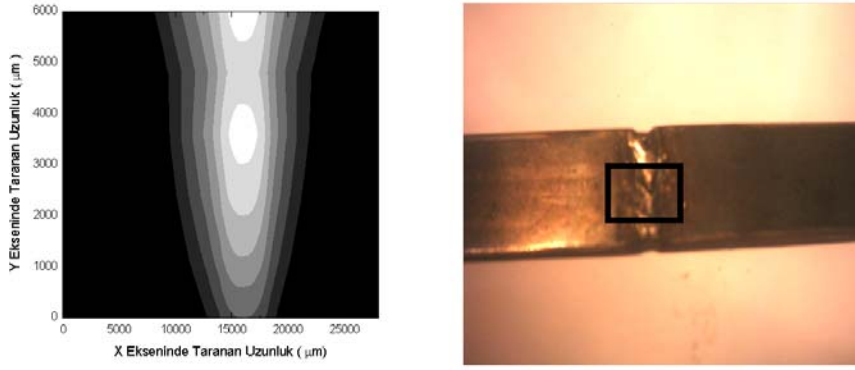
$$B = \frac{V_{out}}{1.06} \times 10^{-4} (T) \quad (3)$$

kullanılabilir. Bağıntıda  $V_{out}$  yerine grafikte istenilen konumda kaçak akının y bileşenin görülen değerini yazmak yeterli olacaktır. Bu çalışmada bağıntıyla bulunan değerlerin doğruluğunu test etmek için, modelin kaynak bölgesinde manuel olarak tesla metre dolaştırılmış ve gerçekte uyduğu bulunmuştur. Bu çalışmada her doğal model için kaçak manyetik akının toplam büyüklüğü ise, modeldeki kaynağın her iki yanına 5'er sarımlık bobin sarılması ve bobinlerde

indüklenen gerilimlerin farklarının alınmasıyla bulunmuştur. Ayrıca bu model için, kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünün 2.9 mV olduğu tespit edilmiştir. Bu değer de yaklaşık  $2.75 \times 10^{-4}$  T'ya karşılık gelmektedir.

Tüm modellerde olduğu gibi, Model 5 isimli modeldeki kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yüksekliği tespit etmek için deneysel çalışmada, modelin yüzeyi farklı y koordinatlarında x-z taramasından geçirilmiş ve elde edilen veriler grafiğe dönüştürülmüştür. Fakat örnek olsun diye sadece  $y=3600 \mu\text{m}$ 'deki x-z taramasının sonuçları Şekil 6c grafiğinde gösterilmektedir. İlgili grafiğe bakıldığında, z ekseninde Hall sensörün çıkış voltajlarının sıfır olduğu ortak noktadan yararlanarak,  $y=3600 \mu\text{m}$ 'de kaçak manyetik akının z ekseninde çıkabildiği maksimum yüksekliğin 2.25 mm olduğu söylenebilir.

Modelin kaynak bölgesinde kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışı için gerekli olan tüm bilgilerin tamamlanmasıyla, deklemler 1, 2 kullanılarak veriler işlenmiş ve bu model için kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki 3 boyutlu davranışı tespit edilmiştir. Şekil 6d grafiğine bakarak, kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki davranışının kaynağın geometrisinden etkilendiğini söylemek mümkündür. Model 5 isimli doğal model için Şekil 6d grafiğinde gösterilen kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki üç boyutlu davranışını, Şekil 6e'de verildiği gibi x-y konumuna göre renklendirmek mümkündür. Bu sayede elde edilen görüntü tarama bölgesine düşen kaynağın üstten bakıldığında 2 boyutlu geometrisini vermektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Modeldeki kaçak manyetik akının davranışından yararlanılarak tarama bölgesinin 2 boyutlu görünümünün tespiti.

Bu çalışmada Model 5 isimli elektrik kaynak modelinin yanısıra tüm modeller için de manyetik geçirgenliğin değiştiği bölgeler, levhalar kaynak yapılırken hangi pozisyonda ve aralarındaki mesafenin ne olduğu, modellerdeki kaynağın kalınlığı ve genişliği, modeldeki kaynağın kalitesi belirlenmiştir. Ayrıca her örnek modelde kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının üç boyutlu davranışı bulunmuştur. Tüm modellerin test edilmesinden sonra elde edilen verilerin işlenmesiyle bulunan sonuçlar tablolaştırılmış ve sonuç bölümünde tartışılmıştır.

#### **IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

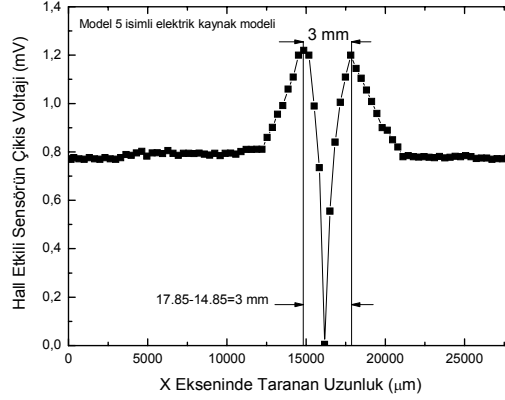
Bu deneysel çalışmada tüm elektrik kaynak modellerinin test edilmesinden sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmektedir.

<b>Elektrik kaynak modellerinin sonuçları</b>			
<b>Modelin ismi</b>	<b>Modeldeki kaçak manyetik akının toplam büyüklüğü (mV)</b>	<b>Algılayıcı</b>	
		<b>Hall etkili sensör</b>	
		<b>Sensör çıkış voltajı (mV)</b>	<b>Kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yükseklik (mm)</b>
Model 1	2.200	1.350	1.95
Model 2	2.500	1.650	2.10
Model 3	2.100	1.70	2.25
Model 4	1.800	1.550	2.10
Model 5	2.900	1.600	2.25
Model 6	2.500	1.550	2.10

**Çizelge 2.** Tüm elektrik kaynak modellerinin sonuçları.

Çizelge 2'ye bakıldığında, basınçlı tanklarda kullanılan levha şeklindeki 3 mm'lik saçların değişik şekillerde kaynak yapılmasıyla elde edilen doğal modellerde kaynağın parlatılması kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünü düşürürken, sensörün çıkış voltajını ve buna bağlı olarak kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yüksekliği arttırmaktadır. Buna sebep olarak, kaynak bölgesindeki kaynak maddesinin yoğunluğunun parlatılmamış örnekte daha fazla olması ve kaynağın geometrik yapısı gösterilebilir. Ayrıca Çizelge 2'ye bakıldığında, modelin her iki yüzüne kaynak yapılması durumunda, kaçak manyetik akının toplam büyüklüğü, sensörün çıkış voltajı ve buna bağlı olarak kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yükseklik de düşmektedir. Buna sebep olarak da, kaynak maddesinin manyetik geçirgenliğinin havaya göre daha yüksek olması nedeniyle, havaya kaçak yapan manyetik akının azalması gösterilebilir.

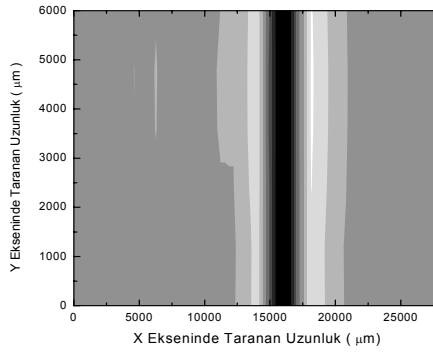
Kullanılan yöntemle, basınçlı tanklarda kullanılan levha şeklindeki 3 mm'lik saçların değişik şekillerde kaynak yapılmasıyla oluşturulan doğal modellerin tümünün kaynak kalınlığı, kaynak merkezi, levhaların kaynatılma pozisyonu, kaynağın üstten profili ve kaynağın kalitesi, model yüzeyinin x-y taraması sırasında sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafiğinden yararlanılarak bulunabilmektedir. Örnek olarak Şekil 10'da Model 5 isimli doğal modelinin kaynak kalınlığının bulunuşu gösterilmektedir.



**Şekil 10.** Model 5 isimli elektrik kaynak modelinde kaynak kalınlığının bulunması ve doğrulanması.

Kullanılan yöntem, kaynak yapılarak oluşturulmuş herhangi bir doğal modeldeki kaynak kalınlığını bulma hususunda bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir kaynak kalınlığını bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, kaynak kalınlığı o kadar gerçek değere yaklaşacaktır.

Kullanılan yöntemle, basınçlı tanklarda kullanılan levha şeklindeki 3 mm'lik saçların değişik şekillerde kaynak yapılmasıyla oluşturulan doğal modellerin kaynak merkezi ve levhaların kaynatılma pozisyonu bulunabilmektedir. Örnek olarak Şekil 11'de Model 5 isimli doğal modelin kaynak merkezi ve levhaların kaynatılma pozisyonunun bulunuşu gösterilmektedir.



**Şekil 11.** Model 5 isimli doğal modelde, kaynağın merkezinin ve levhaların kaynatılma pozisyonunun bulunuşu.

Şekil 11'de Model 5 isimli doğal model yüzeyinin x-y taraması sırasında sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiği gösterilmektedir. Grafikteki siyah bölge, algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktaları göstermekte ve bu bölgenin kalınlığı kaynak kalınlığını doğrudan vermektedir. Grafikteki siyah çizginin tam ortasında modelin kaynak merkezine isabet etmektedir. Bunun yanısıra Hall etkili sensörün çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların oluşturduğu şekil, levhaların kaynatılma pozisyonunu belirlemektedir. Dolayısıyla Şekil 11'e bakıldığında, modelin kaynak merkezinin



16000 µm civarında ve levhaların kaynatılma işlemi sırasında y eksenine paralel olduğu söylenebilir.

Kullanılan yöntem, kaynak yapılarak oluşturulmuş herhangi bir doğal modeldeki kaynak merkezini ve kaynak yapıma pozisyonunu bulma hususunda bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir kaynağın merkezini ve kaynak yapıma pozisyonunu bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, kaynak merkezi ve kaynak yapıma pozisyonu o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu çalışmada x ekseninde 165 µm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan kaynak merkezinin gerçek konumunun  $\pm 165$  µm aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

Şekil 11'e bakıldığında modeldeki kaynağın kalitesinde belirlenebilmektedir. Grafikteki siyah çizginin çevresinde siyah beneklerin ya da siyah bölgelerin olmaması temas bölgesinin dışında kaynak içinde herhangi bir süreksizliğin olmadığını bize göstermektedir. Bu çalışmada tüm modeller için ilgili grafikler belirlenmiş ve tüm modellerde kaynağın düzgün yapıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca basınçlı tanklarda kullanılan levha şeklindeki 3 mm'lik saçların değişik şekillerde kaynak yapılmasıyla oluşturulan tüm doğal modellerde, kaynak bölgesindeki kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yükseklikler bulunarak akının 3 boyutlu davranışı tespit edilmiştir. Tüm modeller için kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki üç boyutlu davranışının, kaynağın genişlemesinden ve kaynağın geometrisinden etkilendiğini söylemek mümkündür. Modeldeki kaynak genişliğinin artması kaçak manyetik akının geçişini yumuşatırken, modeldeki kaynağın geometrisi de kaçak akının çıkabildiği yüksekliği değiştirmektedir. Ayrıca her model için kaçak manyetik akının kaynak bölgesindeki 3 boyutlu davranışı, x-y konumuna göre renklendirilmiştir. Bu sayede her modelde tarama bölgesine düşen kaynağın üstten bakıldığında 2 boyutlu geometrisi bulunmuştur. Ayrıca sonuçların doğruluğu da fotoğraflarıyla karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Şekil 9'da Model 5 isimli doğal modelde kaçak manyetik akının çıkabildiği yüksekliğin x-y konumuna göre renklendirilmiş değişimi gösterilmektedir. Sonuç olarak, kullanılan yöntemle kaynak yapılarak oluşturulan her türlü doğal modeldeki

kaçak manyetik akının davranışları ve taranan kaynak bölgesinin üst yüzeyden görünümünün bulunabileceğini söylemek mümkündür.

### **KAYNAKLAR**

- [1] A.Üstüner, “İmalat Tekniğinden Kaynaklanan Hatalar”, Ankara, 1981
- [2] Ş. Ekinci, “Tahribatsız Test : Ultrasonik - Seviye I, Ç.N.A.E.M. Endüstriyel Uygulama Notları”, İstanbul, 1990.
- [3] TA.Bubenik, J.B. Nesdroth, R.J.Eiber, B.F. Saffell, “Magnetic flux leakage (MFL) technology for natural gas pipeline inspection.”, *NDT & E International*, Volume 31, Issue 5, pp. 379, 1998.
- [4] A.E.Crouch, R.E.Beissner, G.L.Burkhardt, E.A.Creek, T.S. Grant, “Magnetic flux leakage inspection of gas pipelines.”, *NDT & E International*, Volume 30, Issue 1, pp. 31, 1997.
- [5] G.Katragadda, W. Lord, Y.S. Sun, S. Udpa, L. Udpa, “Alternative magnetic flux leakage modalities for pipeline inspection”, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 32, No. 3, pp. 1581–1584, 1996.
- [6] E. Altschuler, A. Pignotti, “Nonlinear model of flaw detection in steel pipes by magnetic flux leakage”, *NDT & E International*, Volume 28, Issue 1, pp. 35-40, 1995.
- [7] P.C. Porter, “Use of magnetic flux leakage (MFL) for the inspection of pipelines and storage tanks”, *NDT & E International*, Volume 30, Issue 1, pp. 33, 1997.
- [8] M.G. Silk, “Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing”, Adem Hilger Ltd., Bristol, 1984.
- [9] L. Cartz, “Nondestructive Testing : Radiography, Ultrasonic, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current”, ASM Intl, 1988, ISBN: 0871705176.
- [10] P. Prokhorenko, N. Migoun, “Introduction in Theory of Penetrant Testing”, Minsk: Science & Technology, Russian, 1988.
- [11] A.G. Beattie, “Acoustic Emission, Principles and instrumentation”, Journal of Acoustic Emission, 1983.
- [12] D.J. Hagemaiier, “Fundamentals of Eddy Current Testing”, ASNT, pp. 92, 1990, ISBN0-931403-90-1.