

# Geçmişten Günümüze Mayın Belirleme Çalışmaları ve Manyetik Anomali Yöntemi ile Kara Mayınlarının Belirlenmesi

Osman KALENDER  
Kara Harp Okulu Dekanlığı, Teknik Bilimler Bölümü,  
06100 Bakanlıklar, ANKARA

## ÖZET

Kara mayınları, anti-personel(AP) ve anti-tank(AT) mayınları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu mayınlar şekil, büyüklük ve imal edildiği metal, plâstik ya da benzeri malzemeler açısından farklılıklar gösterir. Mayın tespitinde kullanılacak teknolojiyi, mayının tahmini derinliği, gömülme tarihi ve türü etkilemektedir. Geçmişten bugüne mayın belirlemede birçok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak, mayın belirleme konusunda geçmişten bugüne yapılan çalışmalar incelenmiş ve ikinci aşamada mayın tespitinde bilinen teknolojilerin dışında yeni bir yöntem olarak manyetik anomali ile mayın tespiti önerilmiştir. Anomali tarama alanında ölçülecek manyetik alanın matematik modeli elde edilmiş ve önerilen yöntem deneysel olarak doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kara mayını, Manyetik anomali, Manyetik alan

## Mine Detection Studies up to The Present and Detection of Land Mines Through Magnetic Anomaly

### ABSTRACT

Land mines are of two kinds as anti-personnel and anti-tank. These mines differ in form, size and materials they are made from, such as plastic and metal. Approximate depth, type and burial date of the mine affect the technology to be used in the detection. From the past to the present, various methods have been used in mine detection. In this paper, first, the researches made in the field of mine detection have been examined, and then mine detection through magnetic anomaly is suggested as a new method apart from the familiar technologies. Mathematical model of the magnetic field measured in the scanning area is presented and the method proposed is experimentally verified.

**Key words:** Land mine, Magnetic anomaly, Magnetic field

### 1. GİRİŞ

Kara mayınları, anti-personel (AP) ve anti-tank (AT) olmak üzere temelde iki ayrı yapıdadır. AP mayınlar, kritik arazi arızalarını ya da köprüler gibi önemli noktaları savunmak; sınır hatları boyunca askerî ve sivil geçişlere engel olmak için, AT mayınlar ise mekanize araç trafiğini engellemek için kullanılmaktadır. AP mayınlar genellikle disk şeklinde ya da silindirik biçiminde olup; çapları 20 ile 125 mm ve yükseklikleri 50 ile 100 mm arasında değişmektedir. Ağırlıkları 30 g civarında olan AP mayınlarında TNT, Tetryl ve Comp B gibi farklı patlayıcı malzemeler kullanılmaktadır.

AT mayınları genelde yassı silindirik şekilli ya da yuvarlak köşeli dörtgenler şeklinde üretilmektedir. Çapları 150 ile 300 mm, kalınlıkları ise 50 ile 90 mm arasında değişmektedir. Patlayıcı içerik ise genellikle TNT, comp B ya da RDZ gibi maddelerdir. AT mayınları genellikle savaş ekipmanı olarak değerlendirilmekte ve savaş alanlarında gizlenmektedir. Kullanım derinlikleri de değişken olup yüzeye aynı seviyede veya yüzeyin 150 mm altına kadar yerleştirilmektedir. Mayın tes-

pitinde kullanılacak teknolojiyi mayının tahmini derinliği, gömülme tarihi ve türü etkilemektedir. Örneğin halen kullanılmakta olan elektromanyetik alan temelli metal dedektörlerine ve yer nüfuzlu radarlara göre sismik sinyal tekniği kullanımı, çok yaygın olan küçük plastik AP mayınlarının belirlenmesinde daha etkilidir. Kara mayınlarının belirlenmesinde en sık, toprağa gömülü durumdaki metal objelerin neden olduğu elektromanyetik dağılımları algılama esasına dayalı çalışan metal dedektörler kullanılmaktadır. Fakat bu algılayıcılar yerin manyetik alanı etkisi ile yaklaşık olarak her bir gerçek alarm karşılık 1000 yanıltıcı (1\1000) alarm vermektedirler. Ayrıca yeni yapılan AP mayınların plastik veya ahşaptan yapılıyor olması da bu yöntemin başarısını olumsuz yönde etkilemektedir.

Kızılötesi görüntüleme, X-ışını geri saçılımı, nötron ısı aktivasyonu gibi, gerçek şartlarda mayın tespitinin zor ve karmaşık olduğu daha yeni belirleme yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlerin çoğu ileri görüntüleme tekniklerine dayalı olmalarına rağmen, bazen bir mayının, taş veya daha başka bir maddeden ayırt edilmesi mümkün olmayabilmektedir. Görüntülemeye

dayalı olmayan nötron ısıl aktivasyonu gibi diğer tekniklerin ise karmaşık olmalarının yanı sıra toprağa olan sınırlı nüfuz derinlikleri ile çevre ve personel güvenliğindeki yetersizlikleri nedeniyle yaygın kullanımları kısıtlıdır. Farklı koşullarda tatmin edici performans elde etmek için farklı yaklaşımlı algılayıcıların birlikte kullanılması sayesinde daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilir. Bu bağlamda sismik algılayıcıların (Ground Penetrating Radar) GPR ve metal dedektörle birlikte kullanılması gibi diğer algılama tekniklerinin karma ya da entegre olarak kullanılması olumlu sonuçlar alınmasını sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada mevcut teknikler irdelenerek kara mayını belirlemede manyetik anomali isimli yeni bir mayın belirleme tekniği önerilmiştir. Bu teknikte temel ilke, araştırma yapılan ortamda manyetik anomali varlığının tespit edilmesidir. Farklı tipteki malzemelerin farklı manyetik özellik göstermesi, anomalinin sebebidir. O halde, mayın arama maksadıyla bu yöntemin kullanılması durumunda, metalik, yarı metalik, plastik ve hatta tanımlı bir geometriye sahip olmayan gübre çuvalı veya gazyağı tenekesi gibi bir patlayıcı düzeneğin tespit edilmesi de olasıdır. Ancak burada da temel sorun, tabiatta var olan farklı yoğunluklu arazi parçaları, kayalar, metal atıklar ve hatta ağaç kökleri gibi cisimlerin mayın/patlayıcı tanımını dışında tutulabilmesidir.

## 2. KARA MAYINI BELİRLEME TEKNİKLERİ

Kara Mayınlarının belirlenmesinde kullanılan teknikler; sismik - akustik dedeksiyon, yer etkili radar (GPR), elektromanyetik indüksiyon (EMI) spektroskopisi, kızılötesi (IR) görüntüleme, çekirdek dörtkutup rezonansı, çekirdek yöntemi, data füzyon, kara mayınlarının istatistiksel analizi (Algoritmalar) ve kara mayınlarının belirlenmesinde kullanılan robotlar başlıkları altında toplanabilir.

Sismik-akustik yaklaşım toprağın 1KHz den az frekanslarda uyarılması ve toprakta neden olunan bu titreşimlerle gömülü mayın üzerindeki toprağın "titreşim işaretlerinin" uzaktan algılayıcılarla ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Toprak titreşimi, havadan taşınan akustik dalgalar ya da topraktan taşınan sismik dalgalar yardımıyla sağlanabilmektedir. Uzaktan algılama ise laser-doppler titreşim ölçer ile yapılmaktadır. Sismo-akustik algılama tekniğinde en önemli husus kara mayınlarından alınacak "titreşim imzalarının" anlaşılması ve doğru yöntemlerle işaretlenmesidir(1).

Yer etkili radarın(GPR), çalışma prensibi; verici anten(ler) yardımıyla yermerkezine doğru gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların toprağın içerisindeki hedeften yansıma yapması ve bu yansımaların alıcı yardımıyla kaydedilmesi esasına dayanır. Hedefler buldukları ortamdaki farklı doğal rezonanslara sahip olduklarından hedefin elektromanyetik dalgayı soğurma miktarına bağlı olarak hedef yüzeyinden yansıyan dalgalar ile bulunduğu ortamdaki yansıyan dalgalar farklılık gösterecektir(2,3). Fakat radar sinyallerinin

bant genişliği nesnenin doğal rezonansını ortaya çıkaracak şekilde ayarlanmalıdır.

Elektromanyetik indüksiyon (EMI) spektroskopisi, zamana bağlı elektromanyetik değişimin olduğu bir ortama iletken ve/veya manyetik geçirgenliği olan bir nesne konulduğunda, nesne üzerinde bir elektrik yük akışının oluşması ve indüklenen bu akımın zayıf ikincil bir manyetik alan üretmesi prensibine dayanır. Kısmen ya da tamamı ile metal içerikli nesnelere; elektrik iletkenliği, manyetik alan geçirgenliği, geometrik şekil ve büyüklük gibi kendine has ayırt edici özelliklere sahiptirler. Bu noktadan hareketle, nesne düşük frekanslı bir elektromanyetik alana maruz kaldığında oluşan bu ikincil manyetik alan geniş bir bant aralığında (30Hz - 24KHz) incelendiğinde nesneye has ve onu tanımlayabilecek spektral bir imza elde edilir(4). Cevap olarak elde edilen bu spektrum, nesnenin karakteristik imzasıdır. İkincil manyetik alanın algılanması ile nesne belirlenmiş olur.

Kızılötesi (IR) görüntüleme, mayınların, üretiminde kullanılan malzemeler nedeniyle bulunduğu çevreden farklı ısıl karakteristiklere sahip olmaları prensibine dayanır. Bu özellikten yararlanarak, çevrenin doğal ısı değişimleri sırasında mayında oluşan sıcaklık farklılıklarını termal kameralar ile ölçmek ve bu sayede mayını tespit etmek mümkündür(5). Bu teknolojiye gelişmeler daha ziyade, mayınlı alanların havadan (zeplin, helikopter, balon vb.) taranması üzerine yoğunlaşmıştır.

Çekirdek Dörtkutup Rezonansı [Nuclear Quadrupole Resonance, (NQR)], birçok patlayıcı ve uyuşturucu maddenin yapısında bulunan azot izotopunun (<sup>14</sup>N) tespit edilmesine dayalı, Manyetik Rezonans (MR) tekniğine benzeyen özgün bir radyo frekansı (RF) tekniğidir. Son zamanlarda bu tekniğin mayın tespitinde kullanılabilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Diğer tekniklerde rastlanan yanıltıcı ve ayırt edilmesi zor sinyaller yerine NQR, çok daha karakteristik sinyal algılamaya imkân vermesi bakımından üstün durumdadır. Ayrıca hava alanları ve halka açık alanlarda patlayıcı ve uyuşturucu madde tespitinde kullanılabilme potansiyeli bakımından da büyük ilgi çekmektedir. Sinyal/gürültü oranının çok düşük olması nedeniyle girişim problemleri yaşanmasına rağmen, son dönemlerde yapılan çalışmalara göre yanlış alarm durumunda bile kabul edilebilirliği çok yüksek özgün NQR işareti elde edilebilmektedir. (6).

Çekirdek yöntemleri, ısıl nötron aktivasyonu, nötron geri saçılımı ve X-ışını geri saçılımından oluşur. Isıl Nötron Aktivasyonu [Thermal Neutron Activation - TNA], Birçok patlayıcının yapısında oldukça fazla bulunan azot çekirdeğinin, toprak yüzeyinde elektron hızlandırıcı kullanılarak elektron bombardımanına tutulması neticesinde aktive edilmesiyle salacağı özel gama ışınlarının algılanmasına dayalı bir yöntemdir. Geri saçılan gama ışınlarının algılanması çık hızlı olduğu için mayın tespiti de çok hızlıdır.

Nötron Geri saçılımı [Neutron Backscatter] tekniğinde, ilgilenilen içerikte bulunan hidrojen çekirdeği elektronlarının yüksek enerjili elektronlarla etkinleştirilerek kopartılmasının ardından geriye saçılan düşük enerjili elektronların algılanarak sayılması esasına dayanır. Ancak hidrojen çekirdeği varlığına dayalı bu tekniğin, hidrojenin suyun temel yapı taşı oluşturması nedeniyle kuru ortamlarda kullanılması gerekmektedir.

X ışını Geri saçılımı [X-ray Backscatter] tekniğinde metal dedektörlerine benzer, ancak temel olarak farklı bir yaklaşım kullanılır. Bu teknikte 2-3 cm çözünürlüklü ve iki boyutlu görüntü elde edebilmek mümkündür. Buna karşın tespit hassaslığı, düşük nüfuz derinliği ve algılama başlığının yüksek tutulması durumlarına bağlı olarak çeşitli problemler yaşanabilmektedir.

Data Füzyon, çoklu sensör kullanımına dayalı bir mayın tespit yöntemidir. Bu teknikte çeşitli sensör verilerini bileştirerek tespit etme olasılığını büyük ölçüde düşürmeksizin yanlış alarm oranını iyileştirmek mümkündür(7). Bu teknikte çoklu sensör verileri üç aşamada birleştirilir; 1. Her bir sensörün ham verisi birleştirilir. 2. Ham veri analiz edilir ve her ham veri için özel bir vektör üretilir ve bu vektörlerin koordinatları birleştirilir. 3. Vektörün tanımladığı nesne hakkında bir karara varılır.

Kara mayınlarının istatistiksel analizi (Algoritmalar) için bir çok algoritma kullanılmaktadır. MoM(Method of Moments) Algoritması, plastik kara mayınlarının belirlenmesinde kullanılır. Genetik Algoritma, seçilmiş çoklu hayali bantların hayali karakteristikleri ve sertlik yumuşaklık derecesi üzerine denetimli ve denimsiz ağ teknolojisi kullanarak, üç yüzey mayınına başarılı bir şekilde tanımlayabilir(8). Bu algoritmaların dışında kullanılan çok sayıda algoritma bulunmaktadır.

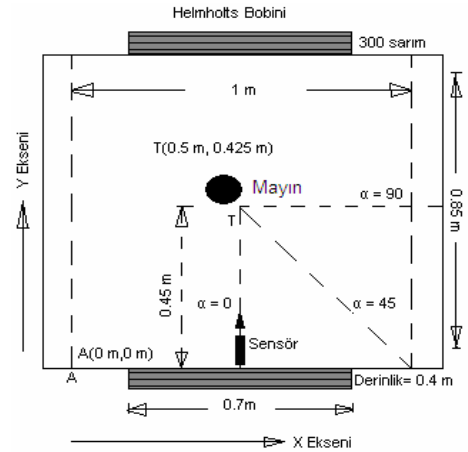
Kara mayınlarının belirlenmesinde kullanılan bazı teknikler için mayın tespit sisteminin hareketli olması gerekmektedir. Bu durumlar için geliştirilen robotlar bulunmaktadır. AP mayınların dedeksiyonu için tasarlanmış, bulanık kuvvet kontrol ünite adapteli robot bunlardan biridir(9). Bu robot DOF isimli probu hareket ettirecek bir robot kol ve bir ölçüm cihazından oluşmak-

tadır. Kolda kuvvet sensörüne göre çalışan bir dc motor sürücü yer almaktadır. Veri kuvvet sensöründen alınmaktadır. Kuvvet sensörüyle toprağın serlik derecesi, olması gerekenle karşılaştırılarak karar verilmektedir.

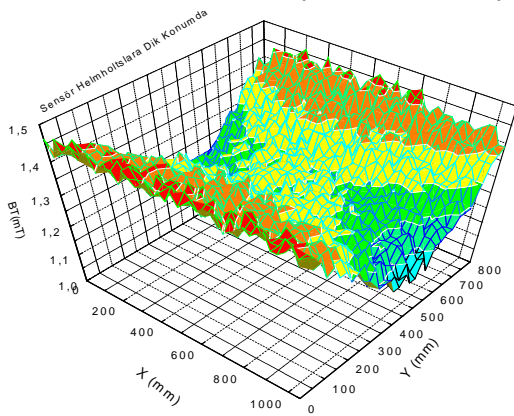
### 3. MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE KARA MAYININI BELİRLEME

Manyetik anomali kullanılarak konum, derinlik veya hareket yönü gibi parametrelerin belirlenmesi çalışmaları 1970'den beri yapılmaktadır(10). Temel yaklaşım manyetik alan içerisindeki malzemenin alanın manyetik yapısını bozacağı ve bir anomali yaratacağı kuramına dayanmaktadır.

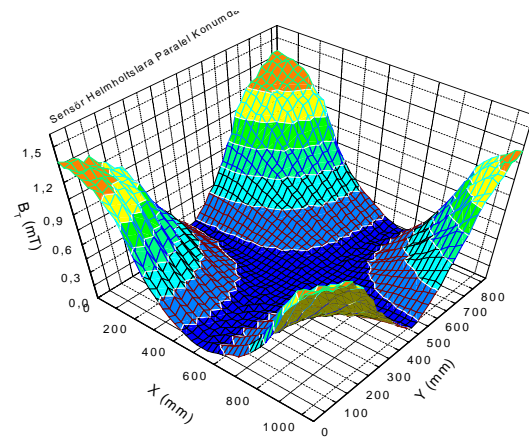
Bu çalışmada deneyler için  $1m \times 1m \times 1m$  ölçülerinde ahşap bir tank imal edilmiş ve her iki kenarına Helmholtz bobinleri yerleştirilerek tankın iç bölgesinde yaklaşık homojen bir manyetik alan yaratılmıştır. Helmholtzlara frekansı  $500 Hz$  ve genliği  $10 V$  olan bir AC sinyal uygulanmıştır. Manyetik alan ölçümleri için sensör olarak,  $0,1 mm$  çaplı bobinaj telinden  $11000$  sarımlı, çapı  $0,5 cm$  ve uzunluğu  $5 cm$  olan, yumuşak demir çekirdekli bir bobin kullanılmıştır. Tank yüzeyini taramak için  $x$  ve  $y$  eksenleri boyunca yaklaşık  $1mm$  aralıklarla hareket edebilen bilgisayar kontrollü bir tarama sistemi tasarlanmıştır. Şekil 1'de deney düzeneğinin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Deney düzeneği şematik yapısı.



(a)

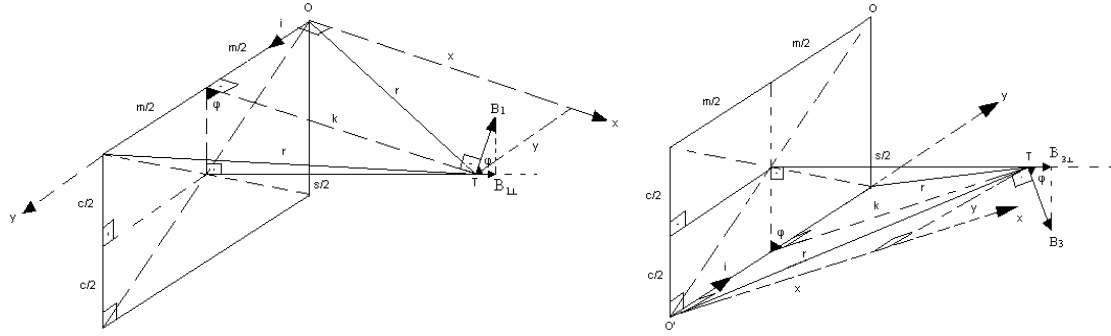


(b)

Şekil 2. Tarama alanındaki manyetik alanın a) x bileşeni ( $B_x$ ) b) y bileşeni ( $B_y$ )

Bu çalışmada anomali ölçüm alanı olarak kullanılacak olan tank içerisindeki manyetik alanı belirlemek amacıyla, manyetik alan sensörü Helmholtz bobinlerine dik olacak biçimde yerleştirilerek ( $B_{\perp}$ ) ölçümü, paralel olarak yerleştirilip ( $B_{\parallel}$ ) bileşeni ölçümü yapılmıştır. Bu iki ölçüm sonucu Şekil 2’de görülmektedir.

Yapılan manyetik alan ölçümünün doğrulanması amacıyla Şekil 1’de mayının yerleştirildiği  $T$  noktasındaki manyetik alanın büyüklüğü, Helmholtz bobinleri tek bir dikdörtgen sarımsın  $T$  noktasında oluşturacağı manyetik alanın bulunmasından yola çıkarak tespit edilmiştir. Dikdörtgen biçimli Helmholtz bobinlerin her bir sarımsının merkezinden  $s/2$  uzaklıktaki manyetik alan büyüklüğü, üzerinden akım geçen sonlu uzunluktaki 4 iletkenin kendisinden  $r$  kadar uzaklıkta oluşturacağı manyetik alanlarının toplamına eşittir. Bu iletkenlerin her birinin manyetik alanı da, iletkenin uzunluğu  $L$  ve manyetik alan büyüklüğü bulunacak noktanın alan merkezine olan  $x, y$  uzaklıklarına bağlı olarak:

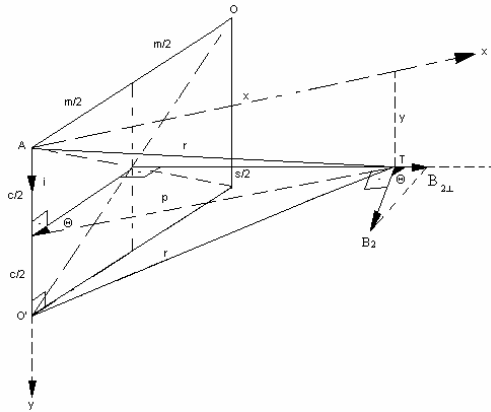


Şekil 3.  $B_1$  ve  $B_3$  manyetik alanlarının vektörel gösterimi.

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} \left[ \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{(y-L)}{((y-L)^2 + x^2)^{3/2}} \right] \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir. Üzerinden akım geçen halkanın üst ve alt sonlu uzunluktaki iletkenlerinin  $T$  noktasında oluşturduğu  $B_1$  ve  $B_3$  manyetik alanlarının büyüklüğü Şekil 3 ve Şekil 4 kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Şekil 3’den üst iletken için



Şekil 4.  $B_2$  ve  $B_4$  manyetik alanlarının vektörel gösterimi.

$$k = \left[ \frac{s^2 + c^2}{4} \right]^{1/2}, r = \left[ \frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}, x = k,$$

$y = \frac{m}{2}$  yazılabilir. Bu değerler Denklem 1’de yerine konursa;

$$B_1 = \frac{\mu_0 i}{4\pi \left( \frac{c^2 + s^2}{4} \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{m/2}{\left( \frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)^{1/2}} - \frac{(m/2) - m}{\left( \frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)^{1/2}} \right] \quad (2)$$

elde edilir. Denklem 1 alttaki iletken için uygulanırsa; aynı sonuç elde edilir. Buradan  $B_1$  ve  $B_3$  alanlarının halka yüzeyine paralel bileşenlerinin birbirlerini götürdüğü ve  $T$  noktasındaki manyetik alana sadece

$B_{1\perp}$  ve  $B_{3\perp}$ ’in katkıda bulunacağı söylenebilir.

$B_{1\perp}$  ve  $B_{3\perp}$  bir birine eşit ve

$$B_{1\perp} = B_1 \cos \varphi, \quad B_{1\perp} = B_1 \frac{c/2}{\left( \frac{c^2 + s^2}{4} \right)^{1/2}}$$

$$B_{1\perp} = \frac{\mu_0 i}{2\pi(c^2 + s^2)} \frac{mc}{\left( \frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)^{1/2}} \quad (3)$$

denklemleri bulunabilir.

$$\text{Şekil 4'te kısa iletken için, } p = \left[ \frac{s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2},$$

$$r = \left[ \frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}, \quad x = p, \quad y = \frac{c}{2} \text{ yazılabilir. Bu}$$

değerler Denklem 1'de yerine konursa;

$$B_{2\perp} = \frac{\mu_0 i}{4\pi \left( (m^2 + s^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{c/2}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} - \frac{(c/2) - m}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \right] \quad (4)$$

elde edilir. Denklem 1 diğer kısa iletken için uygulanırsa; aynı sonuç elde edilir. Buradan  $B_{2\perp}$  ve  $B_{4\perp}$  alanlarının halka yüzeyine paralel bileşenlerinin birbirlerini götürdüğü ve  $T$  noktasındaki manyetik alana sadece  $B_{2\perp}$  ve  $B_{4\perp}$ 'in katkıda bulunacağı söylenebilir.

$B_{2\perp}$  ve  $B_{4\perp}$  bir birine eşit ve

$$B_{2\perp} = B_2 \cos \Theta, \quad B_{2\perp} = B_2 \frac{m/2}{\left( (m^2 + s^2) / 4 \right)^{1/2}}$$

$$B_{2\perp} = \frac{\mu_0 i}{2\pi (m^2 + s^2)} \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \quad (5)$$

bağıntısı ile bulunabilir. O halde, bir Helmholtstaki sadece bir sarımdan  $i$  akımı geçirildiğinde Helmholtz merkezinden  $s/2$  uzaklıkta oluşan manyetik alan büyüklüğü  $B_t = B_{1\perp} + B_{2\perp} + B_{3\perp} + B_{4\perp}$  veya

$B_t = 2(B_{1\perp} + B_{2\perp})$  olur. Buradan  $B_t$  alanı için;

$$B_t = \frac{\mu_0 i}{\pi} \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (6)$$

yazılabilir. Eğer Helmholtz bobininin  $N_1$  sarımlı ve 2 tane olduğu düşünürse, her iki Helmholtzsa merkezden  $s/2$  uzaklıktaki sensörün bulunduğu  $T$  noktasında toplam alan

$$B_T = \frac{2\mu_0 i N_1}{\pi} \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (7)$$

ile verilir. Bu ifade  $T$  noktasındaki manyetik alan büyüklüğüdür. Sensör nüvesinin manyetik geçirgenliği  $\mu_1$ , sensörde oluşan gerilim  $V_0$  ise, sensör gerilimini belirleyen toplam alan büyüklüğü,

$$B_T = \frac{2\mu_1 i N_1}{\pi} \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (8)$$

olur. Faraday yasası gereği  $T$  noktasında sensörde oluşan gerilim,

$$V_0 = N_2 A \frac{dB_T}{dt} \quad (9)$$

ifadesiyle bulunabilir. Sensörde  $V_0$  geriliminin oluşmasına neden olan zamanla değişen manyetik akının sebebi Helmholtzlara verilen değişken  $i$  akımıdır. Bu akım  $i = i_{\max} \sin(\omega t)$  dir. Ohalde  $V_0$ ,

$$V_0 = \frac{2\mu_1 N_1 N_2 A}{\pi} \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \frac{di}{dt}$$

$$V_0 = 4\mu_1 N_1 N_2 A f i \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (10)$$

denklemleri bulunabilir. Buradan  $T$  noktasında sensör Helmholtzlara dik şekilde yerleştirilirse  $V_0$  gerilimi, paralel yerleştirilirse  $0V$  gerilim okunacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Çünkü Şekil 3 ve Şekil 4'den de görüleceği gibi sensör konumu olan  $T$  noktasının dışındaki bölgelerde Helmholtzların oluşturduğu manyetik alanın hem dik hem paralel bileşeninin olacağı açıktır. Dolayısıyla merkezi  $T$  noktası olan bir bölgeye bir sensör Helmholtzlara paralel yerleştirilirse, sensörde  $V_1$  gibi bir değer okunacaktır. Bunun sebebi  $T$  noktasının hemen yakınındaki manyetik alanın paralel bileşenidir. Dolayısıyla  $T(500,425)$  merkez noktasına, bobin Helmholtzlara paralel konursa bobinde  $V_1$  gerilimi, bobin Helmholtzlara dik konursa bobinde  $V_2$  gerilimi indüklenir. O halde  $V_1$  ve  $V_2$ 'nin büyüklüğü,

$$V_1 = 4\mu_1 N_1 N_2 A f i \eta_1 \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (11)$$

$$V_2 = 4\mu_1 N_1 N_2 A f i \eta_2 \frac{mc}{\left( (c^2 + s^2 + m^2) / 4 \right)^{1/2}} \times \left[ \frac{1}{m^2 + s^2} + \frac{1}{s^2 + c^2} \right] \quad (12)$$

ile bulunabilir. Burada  $\eta_1$  paralel bileşen çarpanı ve  $\eta_2$  de dik bileşen çarpanıdır.  $\eta_1$  değeri  $\frac{B_{//}}{(B_{\perp}^2 + B_{//}^2)^{1/2}}$  ya

da  $\frac{V_{//}}{(V_{//}^2 + V_{\perp}^2)^{1/2}}$  eşittir. Çalışmamızda bu çarpanı

deneysel olarak tespit etmek için  $T$  noktasına sensör Helmholtzlara bir dik bir de paralel konumda yerleştirilmiş, o noktadaki  $B_{//}$  ve  $B_{\perp}$ 'in etkisi olan  $V_{//}$  ve  $V_{\perp}$  değerleri bulunmuştur. Ayrıca bu değerler Şekil 2'den de görülebilir. Bu değerler yerine konduğunda

$\eta_1=0.104$  olarak tespit edilmiştir.  $\eta_1+\eta_2=1$  olduğu için  $\eta_2$  de  $0.896$ 'ya eşittir.

Denklemlerle sensör Helmholtzlara paralel konumdayken sensörde oluşacak gerilimin hangi değişkenlerle nasıl değişeceği belirlenmiş ve sensörün ortama sonradan dahil edilen mayının neden olacağı manyetik anomalinin en belirgin etkisinin görüldüğü akım ve frekans değeri tespit edilmiştir. En uygun akım değeri  $0.5\text{ A}$ , frekans değeri de  $500\text{ Hz}$  olarak bulunmuştur. Bu sinyalle  $T$  noktasında  $0.338 \times 10^{-3}\text{ T}$  lık bir manyetik alan oluşturulmuş ve tüm deneyler boyunca bu alanı yaratan besleme sinyali değiştirilmemiştir.  $V_1$  geriliminin büyüklüğü sadece mayınların sebep olduğu manyetik anomali nedeniyle değişmiştir. Sensörün  $x$  ve  $y$  konumlarında ölçtüğü gerilim  $B=V/(4\pi N A f)$  bağıntısıyla işlenerek Şekil 5'deki grafik elde edilmiştir(11). Bu bağlamda;

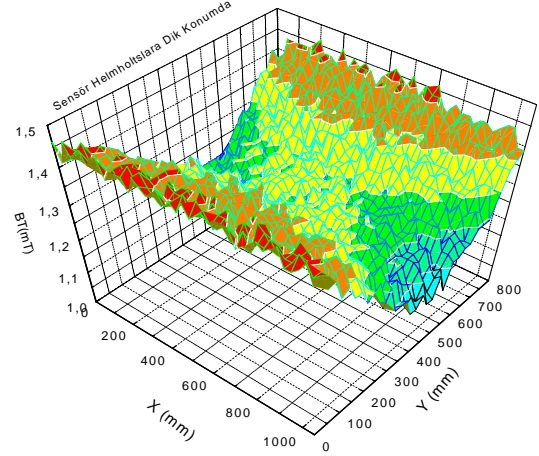
- $B$ : Manyetik akı yoğunluğu (T)
- $V$ : Sensör gerilimi (V)
- $N$ : Sensör sarım sayısı
- $A$ : Sensör çekirdeği kesit alanı ( $m^2$ )
- $f$ : frekans (Hz)



Şekil 6. Tarama alanındaki M15 AT eğitim mayını ve yarattığı anomali

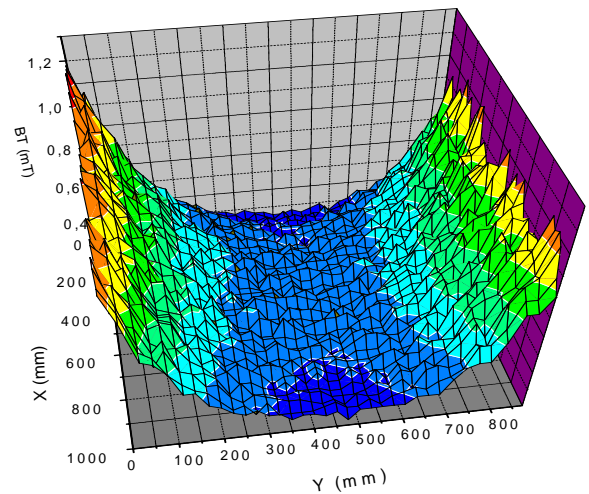
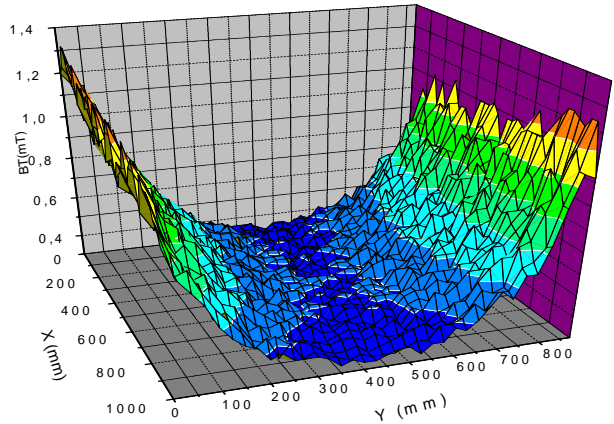


Şekil 7. Tarama alanındaki DM11 AT eğitim mayını ve yarattığı anomali



Şekil 5. Tarama alanındaki manyetik alan

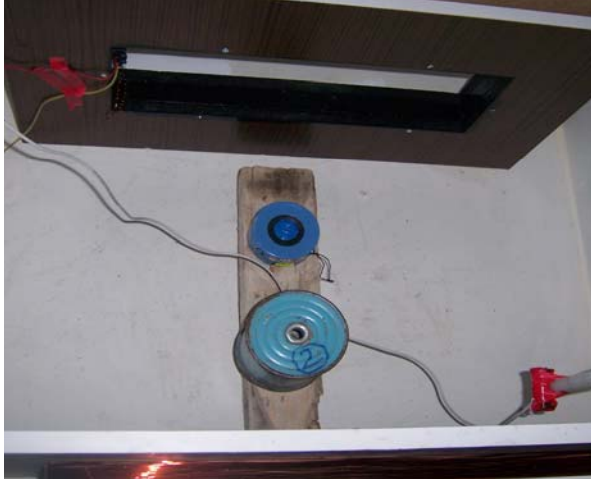
Şekil 5'de görülen bu referans alan esas alınarak aynı alana çeşitli büyüklükte ve çeşitli malzemelerden yapılmış mayınlar yerleştirilmiş ve aynı alana ait manyetik alan ölçülerek referans alana yerleştirilen mayının neden olduğu manyetik anomali gözlenmiştir. Şekil 6'da deney ortamındaki yumuşak demirden yapılmış M15 AT eğitim mayını ve neden olduğu anomali görülmektedir.



Şekil 6 incelendiğinde Şekil 5'e göre ölçüm alanının orta bölgesinde bir anomali olduğu gözlenmektedir. Şekil 7'de deney ortamındaki plastikten yapılmış DM11

AT eğitim mayını ve neden olduğu anomali görülmektedir.

Şekil 7'deki manyetik alan ölçümü plastik mayın için yapılmış olmasına rağmen, mayının yerleştirildiği konumda bir anomali varlığı görülmektedir. Şekil 8'de deney ortamındaki plastikten yapılmış DM14 AP/İ ve yumuşak demirden yapılmış MIG AP eğitim mayınları ve neden olduğu anomali görülmektedir.



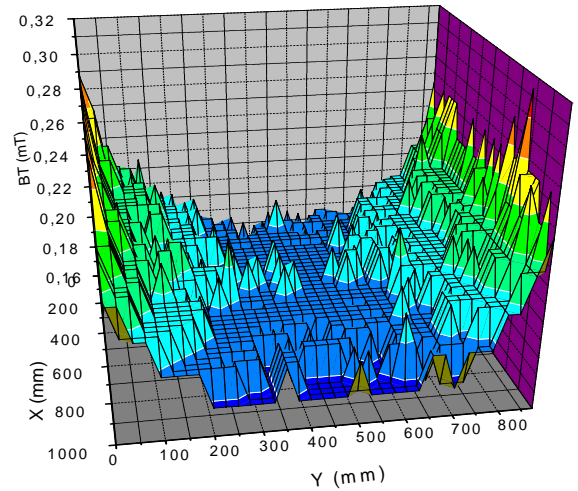
Şekil 8. Tarama alanındaki DM14 AP/İ ve MIG AP eğitim mayını ve yarattığı anomali

Şekil 8'deki manyetik alan ölçümünde, metal ve plastik mayının aynı anda ve aynı ortamda bir anomali yarattığı görülmektedir. Elde edilen sonuç bu anlamda oldukça önemlidir. Bu deneyler M2/A1 ve AP/İ AP mayınları için ve deneyde kullanılan mayınların çeşitli konumları ve kombinasyonları için tekrarlanmıştır. Çalışmamızda toplam 36 farklı deney yapılmış ve tamamında tarama alanındaki manyetik alanda bir anomali meydana geldiği gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada kara mayınlarının tespiti hususunda yapılan çalışmalar incelenmiş ve manyetik anomali ile mayın tespitinin yapılabilirliği deneysel olarak gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı malzemelerden yapılmış çeşitli büyüklüklerdeki mayınlarla toplam 36 deney yapılmıştır. Mayın yüzeyinden 40 cm yükseklikte yapılan bu deneylerin tamamında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu deneylerin tamamı laboratuvar ortamında ve her türlü bozucu unsurdan arındırılmış bir ortamda yapılmıştır. Oysa gerçek arazi şartlarında mayınla ilgisi olmayan insanı atıklar, kaya parçaları, ağaç kökü ve farklı yoğunluktaki arazi yapısı gibi yanlış alarm neden olabilecek coğrafik faktörler mevcuttur. Bu nedenle bu teknikte elde edilen ham verilerin bir sinyal işleme

sürecinden geçirilerek yanlış alarm oranının azaltılması zorunluluğu vardır. Bununla birlikte uygulamadaki kolaylığı, elde edilen verinin bir algoritma ile değerlendirilerek yanlış alarm oranının düşürülebileceği gerçeği ve sınırlar gibi kritik bölgelerde sıkça tekrarlanacak manyetik alan ölçümlerinin karşılaştırılması ile araziye yeni yerleştirilmiş mayınları belirlemede etkin olarak kullanılabilir olması bu tekniği etkin kılmaktadır.



#### 5. KAYNAKLAR

1. P.C.Chu, M.Cornelius, M.Wegstaff, "Effect Of Suspended Sediment On Acoustic Detection Using The Navy's CASS-GRAB Model", Ocean 2005 MTS/IEEE Conf, Page:1-7, 2005
2. J.L. Volakis, Jr.Leon Peters, "Improved Identification Of Underground Targets Using Video Pulse Radars By Elimination Of Undesired Natural Rezonans", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. AP-31, No.2, Page:334-340,1983
3. K.Langer, "A Guide To Sensor Design For Land Mine Detection", "Detection of abandoned land mines" Conference Publication IEEE, No.431, Page:30-32, 1996
4. Y.Q. Zeng, "Acoustic Detection Of Buried Object In 3-D Fluid Saturated Porous Media: Numerical Modeling", IEEE Transaction On Geoscience And Remote Sensing, Vol.39, No.6, Page:1165-1173, 2001
5. L.Svensson, M. Lundberg, "Dual-Band Land Mine Detection Using A Bayesian Approach", Acoustic, Speech and Signal Processing, IEEE Conf., Vol: 2, Page: 1297-1300, 2002
6. M.Sato, "Bistatic GPR System For Landmine Detection Using Optical Elektric Field", Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE Conf, Vol: 1, Page: 207-210, 21-25 July 2003
7. M.P.Kolba, I.I.Jouny, "Clutter Suppression And Feature Extraction For Land Mine Detection Using Ground

- Penetrating Radar”, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE Conf, Vol: 2, Page: 203-206, 21-25 July 2003
8. T.Wojtara, K. Nonami, “Hand Posture Detection By Neural Network And Grasp Mapping For A Master Slave Hand System”, Proceedings Of 2004 IEEE/RSJ International Conference On Intelligent Robots And Systems, Page:866-871, 2004
  9. A.Linderhed, S.Sjokvist, S. Nyberg, M. Uppsall, C.Grönwall, P. Andersson, D. Letalick, “Temporal Analysis For Land Mine Detection”, Proceedings Of The 4th International Symposium On Image And Signal Processing And Analysis”, Page: 389-394,2005
  10. T.E.Tobely, A. Salem, “Position Detection of Unexploded Ordnance From Airborne Magnetic Anomaly Data Using 3-D Self Organized Feature Map”, IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Page: 322-327, 2005
  11. D. Jiles, “Introduction to Magnetizm and Magnetic Materials”, Chapman & Hall, London, Page:56-58, 1991