

KANGAL AKIM OPTİMİZASYON YÖNETİMİ İLE GEMİNİN MANYETİK İZİNİN AZALTIKMASI REDUCING SHIP'S MAGNETIC SIGNATURE WITH METHOD OF COIL CURRENT OPTIMIZATION

Yusuf İzgi¹ Erdiñ Çekli¹ Murat Kuzlu¹ Ertan Uysal¹

¹TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü Güç Elektroniği ve Kontrol Bölümü, TÜBİTAK-MAM,
Kocaeli

e-posta: Erdinc.Cekli@mam.gov.tr, e-posta: Murat.Kuzlu@mam.gov.tr

Özetçe

Bir geminin en korkulu düşmanı, deniz yüzeyinden X metre derine yerleştirilmiş bir deniz mayınıdır. Bu deniz mayınlarının çeşitli türleri mevcuttur: Akustik Mayınlar, Manyetik Mayınlar v.b. Biz manyetik mayınlarla ilgileniyoruz.

Deniz üzerinde hareket eden bir gemi, aslında deniz üzerinde hareket eden büyük bir demir küttedir. Bu nedenle etrafında üç boyutlu ve güçlü bir manyetik alan meydana getirir. İşte deniz mayınları, bu manyetik alanı algılayıp tetikleme mekanizmasını çalıştırarak, gemiye büyük ölçülerde zarar verebilir. Bu makalede, geminin manyetik izinin azaltılmasını otomatik olarak yapmak için gemi üzerinde bilinen kangal koordinatlarından optimum akımın hesaplanması sağlayan kangal akım optimizasyon yöntemini anlattık.

Abstract

The most dangerous enemy of a ship is a sea mine placed X metres deep from the surface. There are different types of the sea mine: Acoustic Mines, Magnetic Mines etc. We focus on magnetic mines.

A moving ship is actually a big iron mass moving on the sea. It produces a powerful three dimensional magnetic field. Sea mines detecting this magnetic field can activate the trigger mechanism thus causing massive damage to the ship. In this paper, we explain a coil current optimization method to calculate the optimum coil current using known coil coordinates on the ship to automatically reduce the ship's magnetic signature.

1. Giriş

DG (Degaussing) sistemi için temel çalışma prensibi olarak "Üzerinden akım geçen bir tel, manyetik alan üretir" cümlesi söylenebilir. Akım ve manyetik alan arasındaki bu ilişki kullanılarak gemi üzerine yerleştirilen DG kangallarına akım basılarak gemi manyetik olarak görünmez hale getirilmektedir.

2. Manyetik Alan İle Kangal Akımları Arasındaki İlişkiler

Gemide DG kangal akımları, sürekli değişim halindedir. Bu değişimin nedenin tam olarak anlayabilmemiz için manyetik alan üreten bir kütle, manyetik alan üretim şekillerini incelemek gerekir.

2.1. Manyetik Alan Bileşenleri

2.1.1. Kalıcı Manyetik Alan

Herhangi bir demir kütle, özünü nedeniyle sahip olduğu kalıcı manyetik alana denir. Bu alan üç boyutludur ve P harfi ile gösterilir.

Kalıcı Manyetik Alan Bileşenleri : P_L, P_A, P_V

L = Longituduonal (Boylamasına bileşen)

A = ArtwarthShip (Enlemesine bileşen)

V = Vertical (Dikey bileşen)

2.1.2. İndüklenen Manyetik Alan

Gemi dünya manyetik alanını bozarak ilerleyen büyük bir küttedir. Geminin dünya manyetik alanında yaptığı bu bozunma, gemi üzerinde bir alan indüklenmesine neden olur. Bu alana indüklenen (induced) manyetik alan denir. Bu alan üç boyutludur ve I harfi ile gösterilir.

İndüklenen Manyetik Alan Bileşenleri : I_L, I_A, I_V

L = Longituduonal (Boylamasına bileşen)

A = ArtwarthShip (Enlemesine bileşen)

V = Vertical (Dikey bileşen)

2.2. Gemi Hareketinin Gemi Manyetikleri Üzerinde Etkisi

2.2.1. Koordinat Değişimi

Dünya manyetik alan bileşenleri dünyanın her koordinatında farklılık gösterir. Gemi hareket halinde iken, gemiye etki eden, dünya manyetikleri değişim göstereceğinden, gemi üzerinde indüklenen manyetik alan da değişim gösterecektir. Bu durum, kangallara basılan akımları değiştirmemizi

gerektirir. Bu nedenle geminin koordinatları bir akım değişirme parametresidir.

2.2.2. Yön Değişimi

Gemi rotasını değiştirdiğinde, dünya manyetiklerinden etkilenme yönünü de değiştirmiş olur. Bu durum gemi üzerinde indüklenen manyetik alanı değiştirecek ve böylece kangallara basılan akımları değiştirmemiz gerekecektir. Bu nedenle geminin yönü bir akım değişirme parametresidir.

3. DG İşlemi

Kısaca özetlenmiş manyetik alan bilgileri ışığında, DG kangal akımlarının gemi pozisyon ve rota bilgilerine göre sürekli değiştirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Gemi koordinatları, kangal akımları değişiminde en önemli giriş parametresi olmakla birlikte, geminin anlık-değişen manyetik izi de ikinci önemli giriş bilgisi olarak ortaya çıkar. Ortadan kaldırmamız gereken manyetik alan, geminin manyetik alanıdır ve bu nedenle sıfırlanacak alanı bilmemiz gerekir. Ancak geminin bir sonraki hareketi sonucunda oluşacak izini anlık olarak elde edebileceğimiz bir sistem gemiye kurulamamaktadır. Gemi izinde oluşan değişimi bilmememiz nedeni ile bilinen bir bölgede gemi izini bastırma başarılmış ve kayıt altına alınmış akımları kullanmamız gerekliliği ortaya çıkar. İşte bu akımlara "Referans Kangal Akımları" denir.

3.1. Referans Kangal Akımları

Geminin izini sürekli ölçen bir yapı gemide bulunmamaktadır. Bununla birlikte, belirli bir bölgede kurulmuş gemi izi ölçüm sistemleri vardır.

DG ölçüm istasyonunda, çeşitli ölçüm yöntemleri kullanılarak bilinen bir koordinattaki geminin izi kolaylıkla ölçülebilmektedir. Ölçüm istasyonunda alınmış tek bir koordinat noktasında geçerli olan bu ize "Referans Gemi İzi" denir. Referans gemi izi ile DG kangallarının oluşturacağı izi karşılaştırarak, referans izi gideren akımlar bulunmaktadır. İşte bu belirli bir koordinatta ölçülmüş gemi izini bastırma akımları "Referans Kangal Akımları" denir.

Referans kangal akımlarını kullanarak, geminin konum değişikliklerinde, izini tekrar tekrar elde etmeye gerek kalmaz. Referans akımlar basit çarpma bölme işlemlerine tabi tutularak, anlık basılması gereken akımlar bulunabilir.

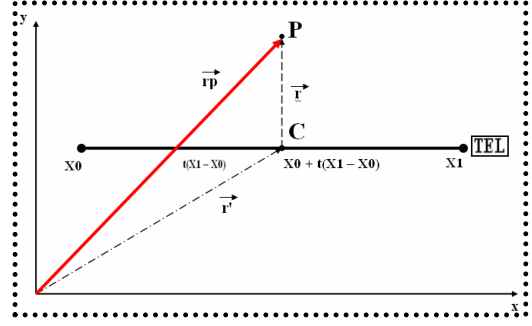
3.2. Referans Kangal Akımları Hesaplama Yöntemleri

Referans kangal akımları iki şekilde hesaplanabilir.

1. Kangal Koordinatları kullanılarak DG izi bulmak ve Gemi izi ile karşılaştırmak için DG izi yazılımsal olarak hesaplanır.
2. Her bir kangalın referans izini kullanarak DG izi bulmak ve gemi izi ile karşılaştırmak. DG izi donanım tarafından ölçülen referans kangal izlerinden bulunur.

3.3. DG İzini Bulma

DG izini, koordinatlarını kullanarak bulacağız. Bu nedenle, öncelikle, "Üzerinden akım geçen bir telin P noktasındaki manyetik izini" teorik olarak formülize etmemiz gerekmektedir.



Şekil 1: Bir tel boyunca oluşan manyetik alan gösterimi

3.3.1. P noktasındaki oluşacak Manyetik alan değişiminin Hesaplanması

P noktasındaki oluşacak manyetik alan değişiminin hesaplanması aşağıdaki temel formülle hesaplanır.

$$dB = \frac{M_0 \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{ds \cdot \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

Tablo 1: Parametreler tablosu

Parametre	Anlamı
r	Tel üzerindeki herhangi bir nokta ile P noktası arasındaki uzaklık vektörünü gösterir. Manyetik alan formülüne giriş parametresidir.
\hat{r}	Birim yön vektörü, vektörel gösterimler için
ds	Telin uzunluğuna göre integral alacağımızı gösterir
t(x1 - x0)	Telin başlangıç noktasından (X0 noktasından) tel üzerindeki herhangi bir noktaya olan uzaklıktır.
C(X,Y,Z)	Telin üstündeki herhangi bir noktanın koordinatını gösterir.
r'	Tel üzerindeki herhangi bir noktanın orijine göre yer gösterici vektörünü ifade eder.
r _p	P noktasının, orijine göre yer gösterici vektörünü ifade eder.
I	Telden geçen akımı gösterir.

Şimdi bu formül üzerinden giderek oluşacak manyetik alanı değişimini adım adım hesaplayalım.

- a. r' vektörünü için C(X, Y, Z) hazırla.

$$\begin{aligned}
X &= x_0 + t(x_1 - x_0) \\
Y &= y_0 + t(y_1 - y_0) \\
Z &= z_0 + t(z_1 - z_0)
\end{aligned} \tag{2}$$

b. r_p vektörünü hazırla. $P(X, Y, Z)$

$$\vec{r}_p = x_p \vec{e}_x + y_p \vec{e}_y + z_p \vec{e}_z \tag{3}$$

c. r vektörünü hazırla.

$$\vec{r} = \vec{r}_p - \vec{r}'$$

d. r' vektörünün dt 'ye göre kısmi türevini alarak tel üzerindeki her noktanın P noktasındaki manyetik alan etkisini bulalım.

$$\begin{aligned}
\frac{d\vec{s}}{dt} \cdot \vec{r} &= \\
\pm(x_1 - x_0)[y_p - y_0 - t(y_1 - y_0)]\vec{e}_z & \\
\mp(x_1 - x_0)[z_p - z_0 - t(z_1 - z_0)]\vec{e}_y & \\
\mp(y_1 - y_0)[x_p - x_0 - t(x_1 - x_0)]\vec{e}_z & \\
\mp(y_1 - y_0)[z_p - z_0 - t(z_1 - z_0)]\vec{e}_x & \\
\pm(z_1 - z_0)[x_p - x_0 - t(x_1 - x_0)]\vec{e}_y & \\
\mp(z_1 - z_0)[y_p - y_0 - t(y_1 - y_0)]\vec{e}_x &
\end{aligned} \tag{4}$$

e. $\frac{|\vec{r}|}{r} = \frac{1}{\hat{r}}$ olduğu için dB formülünü

şu şekilde yazabiliriz.

$$\begin{aligned}
dB &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{ds \cdot \hat{r}}{r^2} \cdot \frac{|\vec{r}|}{r} \\
dB &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{ds \cdot \vec{r}}{r^3}
\end{aligned} \tag{5}$$

f. dB manyetik alan bileşenlerini X, Y ve Z için sonuçları kullanarak ayrı ayrı yazalım.

$$\begin{aligned}
dB_x &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{(z_1 - z_0)(y_p - y_0) - (y_1 - y_0)(z_p - z_0)}{r^3} \cdot \vec{e}_x \cdot dt \\
dB_y &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{(x_1 - x_0)(z_p - z_0) - (z_1 - z_0)(x_p - x_0)}{r^3} \cdot \vec{e}_y \cdot dt \\
dB_z &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{(y_1 - y_0)(x_p - x_0) - (x_1 - x_0)(y_p - y_0)}{r^3} \cdot \vec{e}_z \cdot dt
\end{aligned} \tag{6}$$

g. Kolay anlaşılabilir olması açısından formüldeki elemanları gruplayalım

Tablo 2: Eleman sadeleştirme tablosu

Denklem	Kısaltma
$(x_p - x_0)$	A0
$(x_1 - x_0)$	A1
$(y_p - y_0)$	B0
$(y_1 - y_0)$	B1
$(z_p - z_0)$	C0
$(z_1 - z_0)$	C1

$$\begin{aligned}
dB_x &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{B_1 \cdot A_0 - A_1 \cdot B_0}{r^3} \cdot \vec{e}_x \cdot dt \\
dB_y &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{B_1 \cdot A_0 - A_1 \cdot B_0}{r^3} \cdot \vec{e}_y \cdot dt \\
dB_z &= \frac{M_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{B_1 \cdot A_0 - A_1 \cdot B_0}{r^3} \cdot \vec{e}_z \cdot dt
\end{aligned} \tag{7}$$

h. Son olarak yukarıdaki dB bileşenlerinin tel boyunca integrali alınır. İntegral sonunda elde edilen parametrik değerler aşağıdadır.

$$\begin{aligned}
tmp0 &= \sqrt{A_0^2 + B_0^2 + C_0^2} \\
tmp1 &= A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 \\
tmp2 &= A_0A_1 + B_0B_1 + C_0C_1 \\
tmp3 &= \sqrt{(A_0 - A_1)^2 + (B_0 - B_1)^2 + (C_0 - C_1)^2} \\
tmp4 &= \sqrt{A_1^2B_0^2 + A_1^2C_0^2 + B_1^2A_0^2 + B_1^2C_0^2 + C_1^2A_0^2 + C_1^2B_0^2 - 2*A_0A_1B_0B_1 - 2*A_0A_1C_0C_1 - 2*B_0B_1C_0C_1} \\
&+ tmp0(tmp1 - tmp2) + \\
tmp5 &= \frac{tmp3 \cdot tmp2}{tmp3 \cdot tmp4 \cdot tmp0}
\end{aligned} \quad (8)$$

4. Ana Optimizasyon Rutinin Çalışması

Üzerinden akım geçen telin P noktasında yarattığı manyetik alan bileşenleri hesabı verilmiştir. Bu hesaplama sonucu kullanılarak, üzerinden akım geçen A(X1,Y1, Z1) noktası ile B(X0, Y0, Z0) noktaları arasında bulunan bir telin seçilen tüm P noktalarında meydana getirdiği üç boyutlu manyetik alan bileşenleri bulunur. 50x20'lik bir ızgaralama seçildiğinde 1000 noktaya A-B noktaları arasında, uzanan telin etkisi bulunur. Dolayısı ile sonuçta 1000 * 3 = 3000 adet manyetik alan bileşeni bulunur.

Bu hesaplama rutini DG sistemindeki tüm tel parçalarına uygulanır. Elde edilen manyetik alan bileşenleri DG izi olarak, tüm BX'ler kendi üzerinde tüm BY'ler kendi üzerinde, tüm BZ'ler kendi üzerinde toplanır. Sonuç olarak DG sistemindeki tüm tellerin her noktada yarattığı toplam manyetik alan etkisi bulunmuş olur. İşte bu iz DG'nin aranan izidir. Bu bileşenler 50*20 boyutundadır. DG hesaplama fonksiyonu ile o an seçili kangala iterasyon akımı yüklenir ve yukarıdaki işlemler yoluyla DG kangallarının manyetik alan bileşenlerini bulunur.

Her bir noktadaki DG + Gemi izinin oluşturduğu BT'ler bulunur. Bulunan BT'ler 50*20 boyutundadır. Seçilen optimizasyon türüne göre geriye BT değerlerinin tümünün; Ortalamasını (en iyi çözüm), Maksimumunu, Logaritmik toplamını geri döndürür.

$$BT_{DG+SHIP} = \sqrt{(B_{X_DG} + B_{X_Ship})^2 + (B_{Y_DG} + B_{Y_Ship})^2 + (B_{Z_DG} + B_{Z_Ship})^2} \quad (9)$$

DG fonksiyonunun ana görevi küçük BT oluşturmaktır. Çünkü isteğimiz toplam alanı sıfırlamaktır. Buda geri döndürdüğü ortalama değer en küçük olduğu değer anlamına gelir. Buradan anlaşıldığı üzere DG fonksiyonunun minimumu bulunmalıdır. Bu işlem "GoldenSearch" algoritması ile yapılır.

GoldenSearch algoritması her defasında DG'yi daha küçük BT vermeye zorlar. DG ne zamanki istendiği kadar küçük BT değeri verirse GoldenSearch fonksiyonu en küçük BT değerinin elde edildiği akımı geriye döner.

En küçük BT'nin oluşmasına neden olacak akımlar her bir kangal için o anki akımların hiçbirini değiştirilmeden sadece ilgili kangal akımı ile oynayarak hesaplanır. Artık elimizde minimum BT değerleri oluşturan kangal akım etkileri bulunmaktadır. Yine bu akımlardan hangisi en küçük BT değerini oluşturmaya neden oldu ise bu akım ilgili kangal akımı olarak kabul edilir ve ilgili kangala uygulanır.

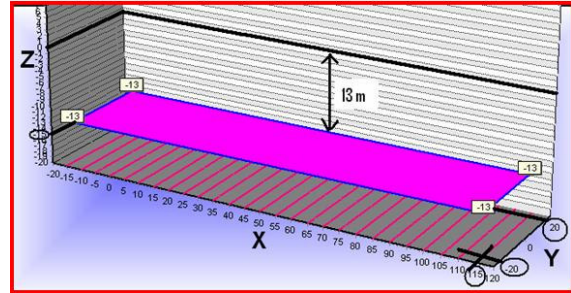
5. DG Uygulaması ve Sonuçları

13. metre derinlikte olan izi hesaplamak isteyelim. Z boyutunda bir X, Y düzlemi alacağımız ve bu düzlemin 13 metre derinde olması gerekliliği ortaya çıkar. 20*50'lik ızgaralama kullandığımızı düşünürsek ızgaralama yüzeyimizin aşağıdaki gösterilmiş yüzey olacağı ortaya çıkacaktır. İşte bu yüzey üzerinden alınacak A(X, Y, Z) noktalarını belirleyelim. Bunun için

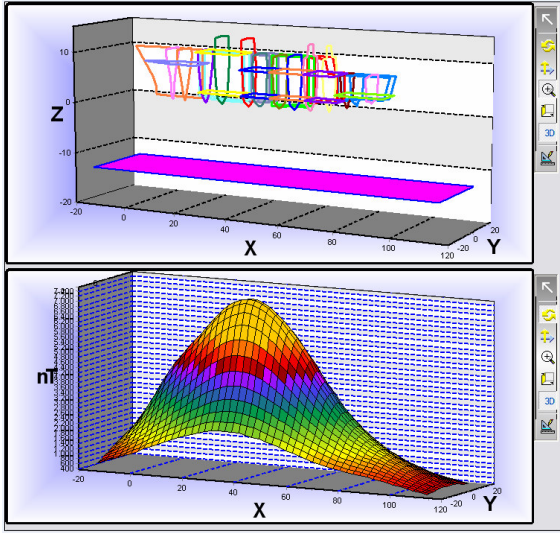
X : (XMax - XMin) / XGrid → (115 - (-15)) / 50 = 2,6'lık adımlar ile -15' den başlayarak 50 nokta *-15-12,4 -9,8...

Y : (YMax - YMin) / YGrid → (20 - (-20)) / 20 = 2'lik adımlar ile -20' den başlayarak 20 nokta *-20-18-16...

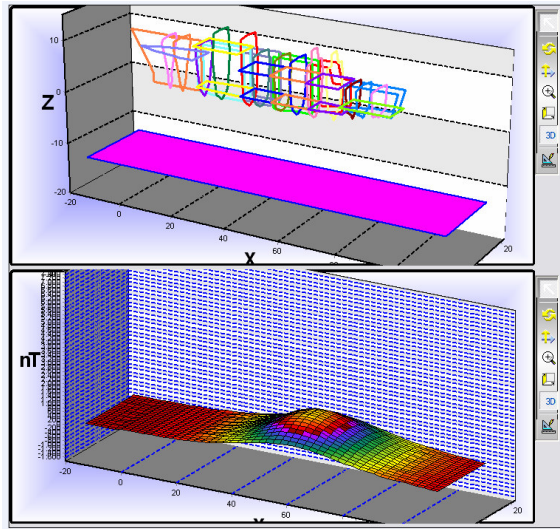
Z : Seçili eksen Z olduğu için tek nokta -13.



Şekil 2: Örnek iz noktası hesaplama yüzeyi



Şekil 3: DG fonksiyonu çalıştırılmadan önce gemi manyetik alan izi



Şekil 4: DG fonksiyonu çalıştırdıktan sonra gemi + DG manyetik alan izi

6. Sonuçlar

Manyetik alan uzun zamandır üzerinde durulan ve çalışan bir konudur. Özellikle askeri organizasyonlar bu konu üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Askeri bir gemi için en tehlikeli durum üzerindeki manyetik izinin büyüklüğüdür. Deniz mayınları, bu manyetik izi algılayıp tetikleme mekanizmasını çalıştırarak, gemiye büyük ölçülerde zarar verebilir. Bu çalışmada, geminin kalıcı ve indüklenen manyetik izinin azaltulmasını otomatik olarak yapmak için gemi üzerinde bilinen kargal koordinatlarından basılacak optimum akımın hesaplaması sağlayan kargal akım optimizasyon yöntemi yazılımsal olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece DG işlemi daha pratik ve doğru bir hale getirilmiştir. Günümüzde hala bazı

DG istasyonlarında DG işlemi deneme yanılma yöntemi ile yapılmakta bu hem zaman hem de ekonomik maliyete neden olmaktadır. Bu çalışma ile DG işlemi hem daha doğru hem de daha kısa sürede gerçekleştirilmektedir.

7. Kaynakça

- [1] Razicaneanu, A. Ionita, V. Gavrilă H. "Methods of Reducing Ship's Magnetic Signature", SNET, 2004
- [2] <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos/eng/62B-303.html>
- [3] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/degaussing.htm>
- [4] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/Demagnetization.htm>