



## Pusula İğnesinde Manyetik Tork Salınımlarının Polarizasyon Optiği Kullanılarak Ölçülmesi

Yavuz Öztürk<sup>1\*</sup>,

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova/İZMİR

<sup>1</sup> Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-EMT), Varennes, QC J3X 1S2, Canada

### Özet

Basit pusula manyetize olmuş iğne ile yön bulmaya yarayan çok eski Çin icadı olarak bilinmektedir. Manyetik iğne dünyanın manyetik alan kuvveti ile hizalanmaktadır. Makro boyutta uygulanan manyetik alan altında manyetik moment hareketleri elektrik motor teknolojisini ortaya çıkarmıştır. Dış manyetik alandan etkilenen elektron ve protonların manyetik momentleri manyetik tınlaşım ve manyetik kayıt teknolojilerini yönlendirmektedir. Bu çalışmada uygulanan manyetik alan altında manyetik momenlerin tork ve salınım hareketlerinin incelenenebilmesi için bir deney önerilmiştir. Acısal hareketin incelenenebilmesi için basit polarizasyon optiği kullanılmıştır. Manyetik moment salınımları klasik harmonik hareket ile açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pusula, Harmonik hareket, Polarizasyon.

## Measurement of Magnetic Torque Oscillation of Compass Needle by using Polarization Optic

### Abstract

Simple compass is very old Chinese invention which uses magnetized needles as direction pointers. Magnetic needle aligns itself under the forces of the earth magnetic field. Under applied field magnetic moment motion leads to electrical motor technology in macro scale. Magnetic moments of electrons and protons, affected by applied field, leads to technologies such as MR and magnetic recording. We proposed an experiment to investigate magnetic torque and oscillation of magnetic moments under applied magnetic field. To make observations of angular motions we used simple polarization optics. Magnetic moment oscillations are explained by the classical harmonic motion under magnetic forces.

**Keywords:** Compass, Harmonic Motion, Polarization Optic.

## Giriş

Pusula yüzyıllardır denizcilere, gezginlere yol gösteren onu kullanan kâşiflerce yeni kıtaların ve bilinmeyen yerlerin keşfine yol açmış önemli bir araçtır. Klasik pusulanın çalışma prensibi, metal iğnesinin dünya dış çekirdeğindeki konveksiyonel akımlar nedeniyle oluşan manyetik alandan etkilenmesine dayanır. Pusula ve manyetik alan altında gösterdiği davranışların incelenmesinin manyetik salınım ve manyetizasyon kavramlarının anlaşılmasını kolaylaştıracağı düşüncesindeyiz. Aynı zamanda sistemde kullanılan polarizasyon optiği acısal hareket incelemek için oldukça kullanışlı bir araçtır ve polarimetrik ölçümlerin temelini oluşturmaktadır. Ayrıca Fizik eğitiminde yapılan çalışmalarda manyetizma ve salınım hareketi ilgi çekmeye devam etmektedir [1,2].

Kullanılan sistem ile dünya manyetik alanına yönelmiş pusula iğnesine farklı açıda manyetik alan uygulanarak salınım hareketi elde edilmiştir. Salınım hareketi polarizasyon optik kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Yapılan hareket sönümlü harmonik hareket varsayımı ile hesaplanmış ve ölçüm sonuçlarıyla uyumu gösterilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Sistem Şekil 1.'de gösterildiği gibi optik ve manyetik parçalar içerecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan pusula yerçekimi etkilerini en aza indirmek için pusula sistemi yer düzlemine paralel yerleştirilmiştir. Manyetik alan kaynağı olarak Leybold-Heraeus Physics firmasına ait 555.58 kodlu Helmholtz sargı sistemi kullanılmıştır. Sistem iki adet 130 sargının 150 mm aralıklı paralel yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Pusula sistemi ise aynı firmaya ait 514.02 pusula ayağı ve 514.04 ürün kodlu pusula iğnesinden oluşmaktadır. Halka 140 mm çapındadır ve 1° aralıklarla ölçeklenmiştir. Pusula iğnesi ise 10 cm uzunluğunda metalden oluşmaktadır. Optik sistem lazer diyot ve basit foto diyot devresinden oluşmaktadır. 1 cm yarıçaplı polarizör pusula iğnesiyle birlikte dönecek ve sistem elemanları arasında sürtünme oluşturmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Doğrusal polarize edilmiş lazer ışını pusula üzerindeki polarizörden geçirilerek dedektör sistemine ulaşmaktadır. Dedektör olarak Şekil 2. de gösterilen 9 V pil ile yüklenen ışık şiddetine bağlı foto diyot akımı, seri 1 MΩ ile voltaja dönüştürülmüştür. LabJack Veri cihazı kullanılarak fotodiyottan elde edilen voltaj bilgisi bilgisayara aktarılmıştır. Bu sistem ile açısız değişiklikler zamana bağlı olarak ölçülmüştür.

Manyetik alanı herhangi bir noktada hesaplamak karmaşık işlemler ve Bessel denklemleri içermektedir [3]. Sargı sisteminin merkezinde oluşan yaklaşık manyetik alan şiddeti H ve Manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}_h$  'ın genliği hava ortamında aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$B_h = \frac{32\pi 10^{-7} NI}{5\sqrt{5}d} \quad (1)$$

Denklemden N sarım sayısı, I uygulanan akım, d iki sarım arası mesafedir. Helmholtz sargılarının merkez bölgesinde eşdağılımlı manyetik alan oluşturduğu varsayıldı. Eşdağılım bölgesi nümerik olarak sargılar arası mesafe ve sargı çapı ile belirlenebilmektedir [4]. Manyetik alan uygulandığında ortamın manyetik alan şiddeti  $\vec{B}_0$  ile birlikte pusula iğnesine etki eden toplam manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B} = \vec{B}_h + \vec{B}_0$  olacaktır.

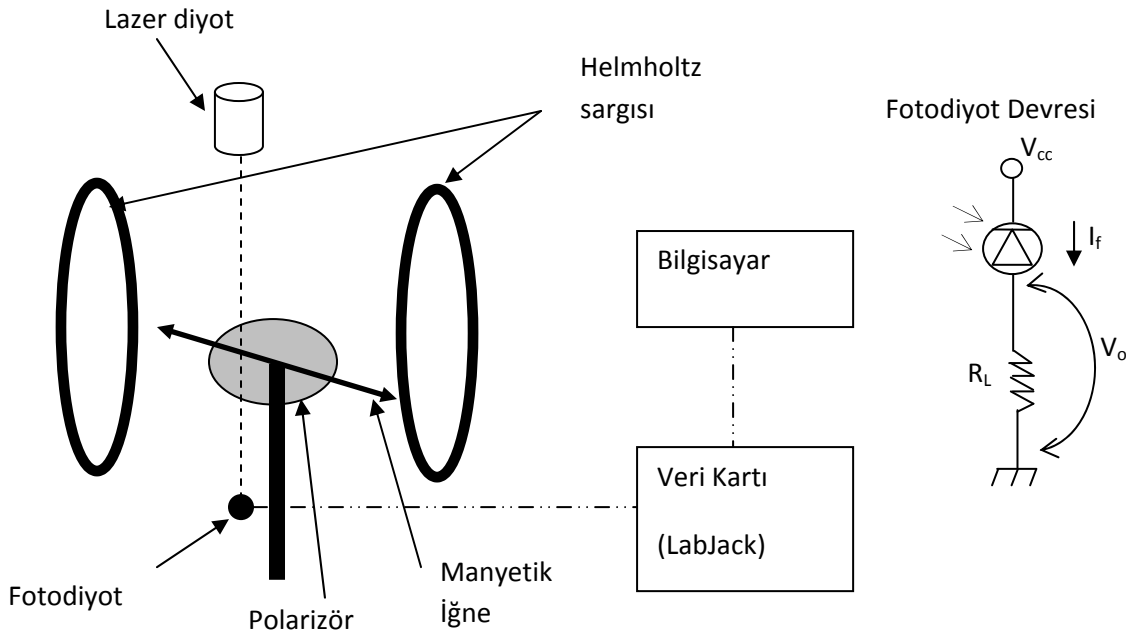
Polarizör elektrik alan vektörünün tek yönlü geçişine izin vermektedir.  $I_0$  siddetinde polarize olmuş ışık geçişinde Malus kanuna göre ışık siddeti:

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \quad (2)$$

olacaktır.  $\theta$  açısı elektrik alan vektörü ile polarizör eksenindeki açıdır [5]. Toplam manyetik alan vektörüne paralel olarak yönelmiş pusula iğnesi sargılardan manyetik alan uygulandığında salınım hareketi yapmaktadır. Bu salınım hareketi yeni manyetik alan doğrultusuna yönlenecek şekilde sönümlenmektedir. Pusula iğnesi manyetik dipolu  $\mu$  uygulanan manyetik alan altında torka  $\vec{\tau}$  maruz kalacaktır. Dipolun maruz kaldığı tork  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$  ifade edilmektedir. Tork altında ve  $c$  sönümlenme sabiti ( $k = c/2I$ ) altında yapacağı sönümlü salınım hareketinin ifadesi:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{\mu B}{I} \sin(\varphi) - 2k \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

Burada  $I$  pusula iğnesi ve polarizörün toplam atalet momentidir. Denklem 3 yay için verilen sönümlü salınım hareketi [5] denklemi değiştirilerek elde edilmiştir.



Şekil 1. Sistem ve fotodiyot devre seması.

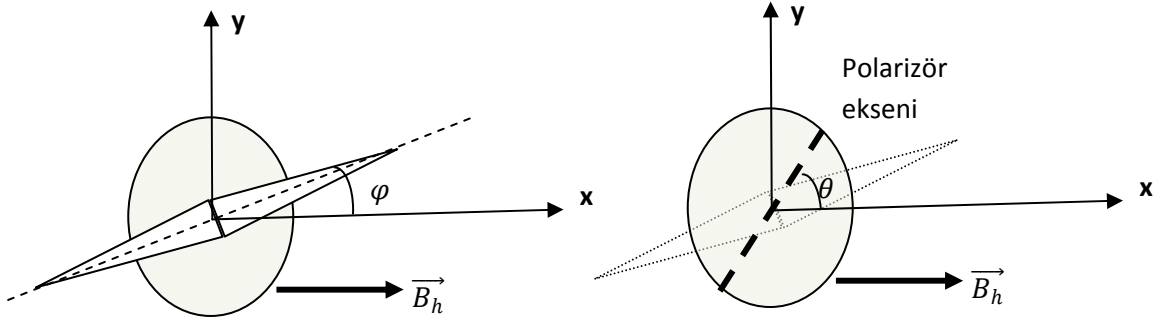
Denklemden  $\varphi$  açısı manyetik alan ile manyetik dipole arasındaki açıdır. Küçük açı değerleri için ve sönümlenmeye bağlı frekans değişimi ihmal edilerek sönümlü basit harmonik hareket denklemi çözümü kullanılmıştır.

$$\varphi = \varphi_0 \sin(\omega t) e^{-kt} \quad (4)$$

Bu denklemde salınım frekansı  $\omega = \sqrt{\mu B/I}$  ile verilmiştir. Denklem 1 ve Denklem 4 birleştirildiğinde fotodiyottan elde edilen voltaj denklemi

$$V \propto I \cos^2(\theta_0 \sin(\omega t + \delta) e^{-kt} + \theta_1) \quad (5)$$

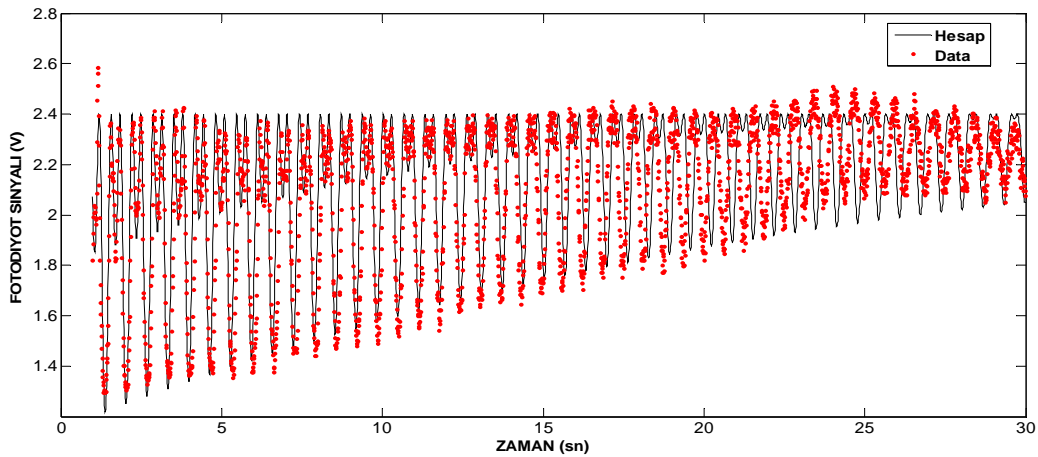
ifade edilebilir. Denklemde  $\theta_0$  pusula iğnesi sabit iken ve  $\theta_1$  pusula iğnesi dengeye ulaşmış durumda polarizör ile gelen ışık polarizasyonu arasındaki açı farkıdır.  $\delta$  açısı ise polarizör eksenini ile pusula iğnesi eksenini arasındaki açı farkını göstermektedir.



Şekil 2. Pusula ve polarizör eksenini.

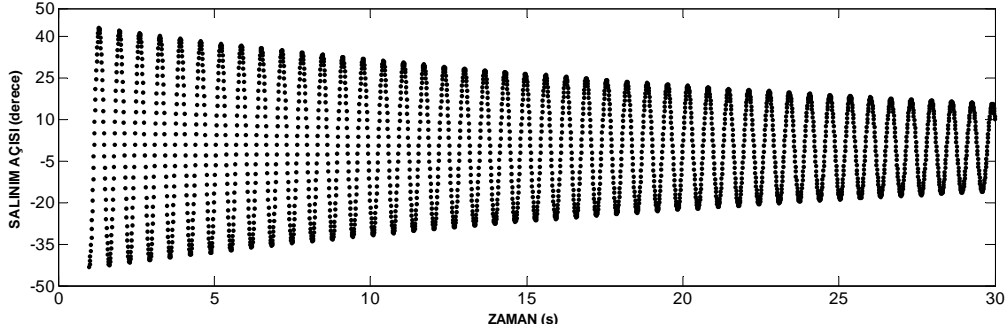
## Bulgular ve Tartışma

Helmholtz sargılara doğru akım uygulanarak manyetik alan oluşturulmuştur. 0.8 A akım altında sargı sisteminin merkezinde oluşacak manyetik akı yoğunluğu  $62.34 \cdot 10^{-6}$  T olarak hesaplandı. Bu manyetik alan şiddeti altında alınan ölçüm Şekil 3.'te gösterilmiştir. Denklem 5 kullanılarak elde edilen sonuç aynı grafikte çizdirilmiştir. Başlangıçta iki grafik aynı fazda iken sönümlenmenin sonlarında faz farkı gözlenmektedir. Bu faz farkının, sistem hatalarından ve hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



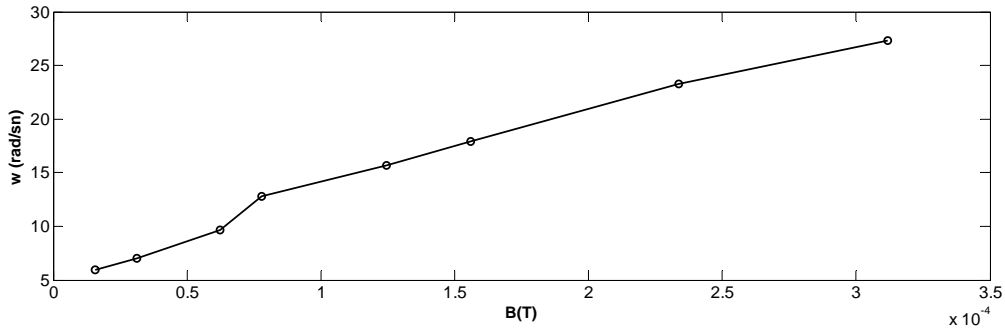
Şekil 3. 0.8 A uygulanan akım altında gözlenen fotodiyot voltajı ve hesaplanan sonuç.

Şekil 3.'te kullanılan parametreler ile hesaplanan pusula iğnesinin açısal değişimi Şekil 4.'te gösterilmiştir. Pusula iğnesi başlangıç aşamasında  $45^\circ$  olarak ayarlanmıştır. Bu dereceden başlayan salınım hareketi beklenildiği şekilde sönümlenmektedir.



Şekil 4. 0.8 A uygulanan akım altında zamana bağlı salınım açısı değişimi.

Denklem 1 kullanılarak hesaplanan manyetik alan değerlerine bağlı olarak elde edilen açısal frekans değişimi Şekil 5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Uygulanan manyetik alana bağlı açısal frekans değişimi.

## Sonuç

Çalışmada polarizasyon optik kullanılarak açısal değişimlerin gözlemlenebileceği ve manyetik alan altında manyetik moment davranışlarının makro boyutlarda incelenebileceği gösterilmiştir. Veri kayıt cihazı 128 örnekleme oranında kullanılmıştır. Bu oran artırılarak açısal değişimlerin gözlenmesinde hassasiyet artırılabilir. Pusula iğnesi salınımının teorik hesaplarla uyumu, başlangıç sürecinde gösterilirken salınım sonlarında faz kayması gözlenmiştir. Kurulan deney düzeneği fizik laboratuvarlarında manyetizma, harmonik hareket, kaotik davranışlar gibi konuların incelenmesinde kullanılabilir. Çalışmada doğru akım kaynağı ile manyetik alan oluşturulmuştur. Sonraki çalışmalarda alternatif manyetik alan altında davranışının incelenmesi düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Connors, M. ve Al-Shamali, F. (2007). The Magnetic Torque Oscillator and the Magnetic Piston. *The Physics Teacher*, 45, 440-444.
- [2] Kraftmakhe, Y. (2007) Magnetic field of a dipole and the dipole–dipole interaction. *Eur. J. Phys.* 28, 409–414
- [3] Schill, R. A., (2003) General Relation for the Vector Magnetic Field of a Circular Current Loop: A Closer Look. *IEEE Trans. on Magnetics*, 39(2), 961-967.
- [4] Helmholtz Coil. <http://physicsx.pr.erau.edu/HelmholtzCoils/index.html> (June 2011)
- [5] Serway, R. A. ve John, W. J. (2003). *Physics for Scientists and Engineers*, 6. Baskı, Brooks/Cole, ISBN 0-534-40842-7