



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Co-60 Gama Işınlamasının Fluxgate Sensör Nüveleri Üzerine Etkisi

Hava CAN

TÜBİTAK UME Ulusal Metroloji Enstitüsü, 41470, Kocaeli, Türkiye
Hava CAN, ORCID No: 0000-0001-7388-6007
Sorumlu yazar e-posta: hava.can@tubitak.gov.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 17.02.2023
Kabul: 14.04.2023
Online Aralık 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1252501

Anahtar Kelimeler

Fluxgate sensör,
Hassasiyet,
Radyasyon,
Soft manyetik malzeme

Öz: Zayıf manyetik alan ölçümleri için kullanılan fluxgate sensörler uzay ortamındaki çevresel faktörlerden oldukça fazla etkileniyor olsa da uzay görevlerinde kanıtlanmış performansları ve güvenilirlikleri dolayısıyla oldukça yaygın tercih edilirler. Çevresel faktörler uzay araçlarının görevini kısmen ya da tamamen engelleyebilecek büyük sorunlara neden olacağından, bu çalışmada çevresel faktörlerden biri olan radyasyonun sadece sensör nüvesi üzerinde etkileri incelenmiştir. Üç farklı dozda Gama radyasyona maruz bırakılan nüvelerin karakterizasyon ölçümleri yapılmıştır. Hassasiyet ölçümlerinden elde edilen ölçek faktörlerinin çok az farkla birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan gürültü analizlerinden artan radyasyon miktarıyla gürültü seviyesinin ise nT mertebesinde arttığı gözlenmiştir.

Effect of Co-60 Gamma Irradiation on the Fluxgate Sensor's Cores

Article Info

Received: 17.02.2023
Accepted: 14.04.2023
Online December 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1252501

Keywords

Fluxgate sensor,
Radiation,
Sensitivity,
Soft magnetic material

Abstract: Although fluxgate sensors used for weak magnetic field measurements are highly affected by environmental factors in the space environment, they are widely preferred in space missions due to their proven performance and reliability. Environmental factors can cause major problems that may partially or completely hinder the mission of spacecraft. In this study, the effects of radiation, which is one of the environmental factors, only on the sensor core were investigated. Characterization measurements of the cores exposed to three different doses of Gamma radiation were made. It was observed that the scale factors obtained from the sensitivity measurements were close to each other with very little difference. In addition, it was observed from the noise analyzes that the noise level increased in the order of nT with increasing doses of radiation.

1. Giriş

Fluxgate sensörler DC veya düşük frekanslı manyetik alan ölçümleri için geniş kullanım alanına sahiptir (Gordon & Brown, 1972; Tumanski, 2013). İlk olarak 1930'lu yıllarda ortaya çıkmıştır. Günümüzde medikal, metal endüstrisi, maden arama ve savunma sanayi gibi birçok alanda kullanılmasının yanı sıra en yaygın kullanım alanı uzay endüstrisinde konum ve yönelim belirleme kontrol sistemleridir (Peterson ve ark., 1995; Clem, 1997; Snare, 1998). Uygulama alanının amacına göre farklı geometrilerde üretilebilir. Yaygın olarak tercih edilen geometriler halka, çubuk ve yarış-pisti şeklindedir (Ripka, 1992). Yüksek hassasiyet, düşük ofset ve yüksek sıcaklık kararlılığına sahiptir. Düşük enerji tüketimi ve ekonomik açıdan avantajlı olması da tercih edilme sebeplerindedir (Ripka, 2002; Kubik ve ark., 2005; Ripka ve ark., 2010).

Fluxgate sensörler manyetik akıyı yoğunlaştırma ve yönlendirme amaçlı kullanılan, yüksek manyetik geçirgenliğe sahip ferromanyetik malzemeden oluşan bir nüve ve etrafına sarılan uyarma ve

algılama bobininden oluşmaktadır. Uyarıcı AC bir alanla birlikte ölçülmek istenen DC alanın uygulanmasıyla oluşan 2. harmonik sinyalinin DC alanla mükemmel doğrusallıkta göstermiş olduğu değişim fluxgate sensörlerin temelini oluşturmaktadır (Primdahl, 1973).

Birçok uydu görevinde yer alan fluxgate sensörler görevlerini başarı ile tamamlamışlardır (Wallis ve ark., 2015; Herçik ve ark., 2017). Uzay ortamının sıcaklık ve radyasyon gibi zorlayıcı çevresel koşullarından dolayı uydunun fırlatıldıktan sonra dayanıklılığını koruması ve görevini başarılı bir şekilde devam ettirebilmesi bir hayli zordur. Uzay ortamında radyasyon kaynakları olarak Van Allen kuşakları, güneş sisteminden kaynaklı yıldız patlamaları ve güneş sisteminin dışından gelen X ve Gama kozmik ışınlar bilinir (Benton & Benton, 2001; Dachev ve ark., 2011). X ışını ve Gama ışını gibi kozmik ışınların içinde yer aldığı radyasyon türleri elektronları yörüngelerinden koparabilecek enerjiye sahip iyonize radyasyon çeşitlerindedir.

Uydular fırlatıldıktan sonra düşük irtifa bölgesinden uzaklaşıp Van Allen kuşaklarının bölgesine geçtiğinde uzay radyasyonuna maruz kalmaya başlar (Gusev ve ark., 2003; Reeves ve ark., 2003). Bilindiği üzere dünya manyetik alanından kaynaklanan Van Allen kuşakları, güneşten ve yıldızlardan yayılan zararlı ışınlar karşı kalkan işlevi gören bir tabaka olsa da çok yüksek enerjili iç ve dış radyasyon kuşaklarını içerir. Bu kuşaklar bu bölgelerde zaman geçiren uyduların sensör, elektronik devre ve güneş pilleri gibi ekipmanlarına zarar verir. Zararı ortadan kaldırmak ya da minimize etmek için hassas bileşenlerin korunması gerekir (Weaver & Villard, 1996). Bu sebeple bu bileşenlerin bu ortamlarda kullanılabilirliğini değerlendirmek ve arıza göstermeden önce alabilecekleri toplam iyonlaştırıcı dozu tahmin etmek için Co-60 gibi radyoaktif kaynakların kullanımına dayalı bir yeterlilik sistemi izlenir. Avrupa Uzay Ajansının (ESA) belirlediği standartlarda her türlü uzay görevi öncesinde yeryüzünde radyasyon testleri yapılarak gerekli tedbirler alınır.

Bu çalışmada aynı atomik konfigürasyona sahip nüvelere standartlara uygun olarak farklı dozlarda Co-60 Gama ışınlarıyla ışınlama yapıldı. Genellikle radyasyon testlerinde ışınlama ekipmanının elektroniği ile beraber tüm sisteme uygulanırken (Gomez ve ark., 2011; Hu ve ark., 2016; Tiwari ve ark., 2022) bu çalışmada sensör elektroniği tamamen ayrı tutularak sadece nüvelere ışınlama yapıldı. Uygulanan radyasyon dozlarının akabinde sensör karakterizasyon çalışmaları yapılarak uygulanan radyasyon dozlarının sensör performansına etkileri incelendi.

2. Materyal ve Yöntem

Sensör nüvesi olarak Vitroperm 800 (Fe₇₃Cu₁Nb₃Si₁₆B₇) soft-manyetik nanokristalin malzeme kullanıldı. Demir tabanlı bu malzeme nanokristalin malzemeler arasında en iyi yüzey kalitesine sahiptir. Ayrıca yüksek doyum mıknatıslanması, yüksek manyetik geçirgenlik ve geniş sıcaklık aralığında mükemmel termal kararlılık gibi oldukça önemli özellikleri de vardır.

Bu çalışmada Vitroperm 800 şerit nüve kullanılarak 4 adet sensör hazırlandı. Öncelikle nüveler çapı 15 mm olan halka kasnak üzerine 6 kat sarım yapıldı. Nüvelerden biri olduğu gibi kullanılırken diğerleri 3, 10 ve 20 kRad değerinde Co-60 Gama ışınlarına maruz bırakıldı.

Nüvelerin uyarma ve algılama bobin kasnakları için %30 cam dolgulu Tecapeek GF30 natural kullanıldı. Bu malzemenin seçilme sebepleri arasında mekanik dayanım, sertlik, yüksek termal kararlılığı minimum termal genleşme ve yüksek Gama ışınım dozlarına karşı üstün direnç sergileme gibi özellikleri vardır. Işınlama işleminden sonra uyarma bobinleri 300 µm çaplı bakır tel ile 130 tur toroidal sarım yapılarak hazırlandı. Uyarma bobinlerinin içine yerleştirileceği algılama bobini ise 200 µm çaplı bakır tel ile 8 kat 480 tur sarıldı. Nüveler üzerinde radyasyon etkisinin iyi bir şekilde görülebilmesi için tek algılama bobini ile çalışıldı. Şekil 1'de Fluxgate sensörü oluşturan nüve, uyarma bobini ve algılama bobine ait görüntü verilmektedir.

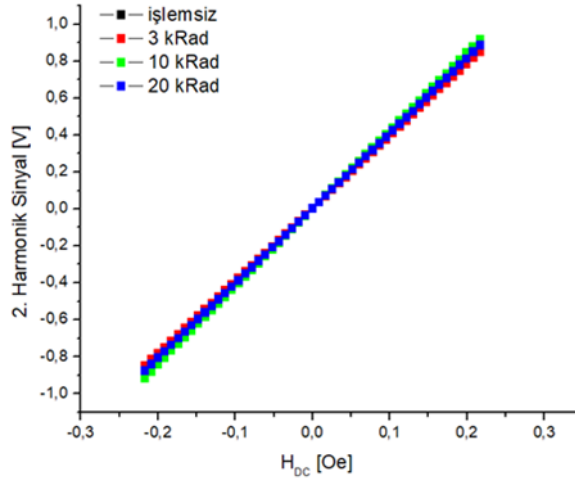
İkinci harmonik sinyal ve gürültü analiz ölçümleri için SRS-DS360 sinyal jeneratörü ve SR830 Lock-in yükselteç sekronize edilerek kullanıldı. Uyarma bobinine sinyal jeneratöründen frekansı 15.625 kHz ve genliği 12 V_{p-p} olan kare dalga formunda sinyal gönderilerek algılama bobininde indüklenen gerilim lock-in yükselteçten okundu. Referans DC alan kaynağı olarak Helmholtz Bobin sistemi kullanıldı. Helmholtz bobin sistemine akım Keithley 220 hassas akım kaynağından sürüldü. Gürültü analiz ölçümleri için sensörler sırayla 4 katlı mu-metal içine yerleştirildi ve SR830 Lock-in yükseltecin çıkışı Agilent 35670A dinamik spektrum analizörünün girişine bağlanarak ölçümler yapıldı.



Şekil 1. Fluxgate sensörü oluşturan temel bileşenler.

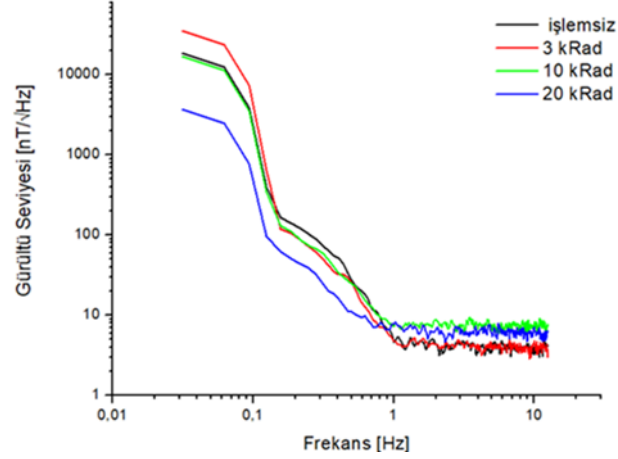
3. Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan sensörler Helmholtz bobin merkezine yerleştirildi. Sıfır ofset değerinin etkisini azaltmak için uyarma bobini algılama bobini içinde dikkatli bir şekilde döndürüldükten sonra karakterizasyon ölçümleri yapıldı. Önce ikinci harmonik sinyalin DC alanla değişimini gösteren hassasiyet ölçümleri yapıldı (Şekil 2). Bu ölçümlerde alınan verilerin tersine çevrilebilirliğini görmek için önce negatiften pozitifte sonra pozitiften negatife belirli bir aralıkta ölçümler yapıldı. Elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafiklerden uygulanan DC alanla sensör sinyalinin muhteşem lineer bağımlılığa sahip olduğu görüldü ve doğrusal olmama karakteristiği (non-linearity) $R^2=1$ olarak hesaplandı.



Şekil 2. İkinci harmonik sinyalin DC alanla değişim grafiği.

Sensörler 4 katlı mu-metal içine yerleştirilip gürültü analiz ölçümleri yapıldı (Şekil 3). Gürültü analizlerinde cihazdan alınan veriler V/\sqrt{Hz} şeklinde olup her bir sensöre ait ölçek faktörü kullanılarak her bir sensörün gürültü seviyesi nT/\sqrt{Hz} birimine çevrildi.



Şekil 3. Gürültü analiz ölçüm sonuçları.

Hassasiyet eğrilerinin eğimlerinden işlemsiz, 3, 10 ve 20 kRad radyasyona maruz kalan nüvelerin ölçek faktörleri sırasıyla 42, 39, 42 ve 41 kV/T olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'te verilen gürültü analiz sonuçları incelendiğinde işlemsiz, 3, 10 ve 20 kRad radyasyona maruz kalan nüvelerin 1 Hz'deki gürültü değerleri sırasıyla 4.5, 4.7, 7.2 ve 7.6 nT/√Hz olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların oldukça yakın olduğu ve uygulanan radyasyon dozlarının etkisinin ölçek faktörleri ve gürültü seviyeleri üzerinde çok büyük bir değişime sebep olmadığı görülmüştür.

Bir sonraki çalışma için nüve malzemesi aynı olmak koşuluyla fluxgate sensör ve elektronik devresi beraber radyasyon testlerine sokulacak ve radyasyonun sensör elektroniği üzerindeki etkisi incelenecektir. Olası olumsuzluklara karşı alınabilecek önlemler araştırılacaktır.

4. Sonuç

Bu çalışmada fluxgate sensör nüvesi olarak seçilen Vitroperm 800 (Fe73Cu1Nb3Si16B7) soft-manyetik malzeme 20kRad'a kadar Co-60 Gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Yapılan karakterizasyon ölçüm sonuçlarından uygulanan radyasyon dozlarının nüve yapısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ölçek faktörleri ve gürültü seviyelerinde bir miktar değişim görülse de bu ihmal edilebilir bir seviyededir. Bu çalışma ile Co-60 Gama ışınlamasının fluxgate sensör nüvelerinin elektroniğinden bağımsız olarak incelenmesi sonucunda uygulanan radyasyonun nüveler üzerindeki etkisi net bir şekilde gözlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmayı yaparken katkı ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Uğur TOPAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- Benton, E. R., & Benton, E. V. (2001). Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 184, 255-294. doi:10.1016/S0168-583X(01)00748-0
- Clem, T. R. (1997). Progress in magnetic sensor technology for sea mine detection. *The International Society for Optical Engineering*, 3079, 354-371. doi:10.1117/12.280862
- Dachev, T. P., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. S., Vadawale, S. V., Goswami, J. N., Angelis, G. D., & Girish, V. (2011). An overview of RADOM results for earth and moon radiation environment on Chandrayaan-1 satellite. *Advances in Space Research*, 48(5), 779-791. doi:10.1016/j.asr.2011.05.009
- Gordon, D., & Brown, R. (1972). Recent advances in fluxgate magnetometry. *IEEE Transactions on Magnetics*, 8(1), 76-82. doi:10.1109/TMAG.1972.1067268

- Gomez Rojas, L., Chang, M., Hopkinson, G., & Duvet, L. (2011). Radiation effects in the LUPA4000 CMOS image sensor for space applications. *Proceedings of the European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems*, 6131324, 800-805. doi:10.1109/RADECS.2011.6131324
- Gusev, A. A., Pugacheva, G. I., Jayanthi, U. B., & Schuch, N. (2003). Modeling of low-altitude quasi-trapped proton fluxes at the equatorial inner magnetosphere. *Brazilian Journal of Physics*, 33(4), 775-781. doi:10.1590/S0103-97332003000400029
- Herčík, D., Auster, H.-U., Blum, J., Fornaçon, K.-H., Fujimoto, M., Gebauer, K., ... & Glassmeier, K. H. (2017). The MASCOT magnetometer. *Space Science Review*, 208, 433-449. doi:10.1007/s11214-016-0236-5
- Hu, W., Zhuang, Y.-Q., Bao, J.-L., & Zhao, Q.-F. (2016). Space environment effects and 1/f noise discrimination method on Mn-Co-Ni type infrared detectors. *Acta Photonica Sinica*, 45(7), 70704001.
- Kubik, J., Pavel, L., Ripka, P., & Kaspar, P. (2005). Low-power PCB fluxgate sensor. *IEEE Sensors*, 1(2), 432-435 doi:10.1109/ICSENS.2005.1597728
- Peterson, J. C., Arredondo, R., Chao, T.-H., Friedman, G. L., LaBaw, C., Lam, B., Moynihan, P. I., & Tupman, J. (1995). *Sensor technology assessment for ordinance and explosive waste detection and location*. California, USA: JPL.
- Primdahl, F. (1973). Comments on the theoretical output of a ring core fluxgate sensor. *IEEE Transactions on Magnetics*, 9(4), 708. doi:10.1109/TMAG.1973.1067725
- Reeves, G. D., McAdams, K. L., Friedel, R. H. W., & O'Brien, T. P. (2003). Acceleration and loss of relativistic electrons during geomagnetic storms. *Geophysical Research Letters*, 30(10), 1529. doi:10.1029/2002GL016513
- Ripka, P. (1992). Review of fluxgate sensors. *Sensors Actuators A: Physical*, 33(3), 129-141. doi:10.1016/0924-4247(92)80159-Z
- Ripka, P. (2002). Magnetic sensors and magnetometers. *Measurement Science and Technology*, 13(4), 645. doi:10.1088/0957-0233/13/4/707
- Ripka, P., & Janosek, M. (2010). Advances in magnetic field sensors. *IEEE Sensors Journal*, 10(6), 1108-1116. doi:10.1109/JSEN.2010.2043429
- Snare, R. C. (1998). A history of vector magnetometry in space. *Geophysical Monograph Series*, 103, 101-114.
- Tiwari, M. K., Diwan, J. S., Singh, K., & Topkar, A. (2022). Comparison of gamma radiation effects on CCD cameras under different bias conditions using image analysis techniques. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 69(12), 2297-2304. doi:10.1109/TNS.2022.3222714
- Tumanski, S. (2013). Modern magnetic field sensors-a review. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89(10), 1-12.
- Wallis, D. D., Miles, D. M., Narod, B. B., Bennest J. R., Murphy K. R., Mann I. R., & Yau A.W. (2015). The CASSIOPE/e-POP magnetic field instrument (MGF). *Space Science Reviews*, 189, 27-39. doi:10.1007/s11214-014-0105-z
- Weaver, D., & Villard, R. (1996). Hubble achieves milestone: 100,000th Exposure. Space Telescope Science Institute. <https://hubblesite.org/contents/news-releases/1996/news-1996-25.html>
Erişim tarihi: 27.11.2023.