

Mg Tabanlı Biyobozunur Ameliyat Süturun Beden-Üstü Anten ile Kablosuz Takibi

Özge Taylan Moral, Ahmet Bilir, Ozan Furkan Sezgen*, Sema Dumanlı

Boğaziçi Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul

ozge.moral@std.bogazici.edu.tr, ahmet.bilir@std.bogazici.edu.tr, sema.dumanli@bogazici.edu.tr

*ASELSAN

İstanbul

ozanfsezgen@aselsan.com

Özet: Bu çalışmada, Mg-tabanlı biyobozunur süturun göğüs kemiği üzerindeki yapısal bütünlüğü beden-üstü okuyucu anten ile kablosuz olarak takip edilmiştir. İnsan bedeni üzerinde çalışacak bir ultra genişbant eş-düzlemli dalga kılavuzu beslemeli dairesel disk monopol anten tasarlanmış ve eniyileştirilmiştir. Kırılmanın kablosuz takibi doku taklitli fantom üzerinde benzetim yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sütur-anten hizalanması ve sütur derinliğinin takip performansına etkisi ve kırılma noktası takibi analiz edilmiştir. Önerilen anten ile kırılmanın 25 mm derinliğe kadar takip edildiği gösterilmiştir.

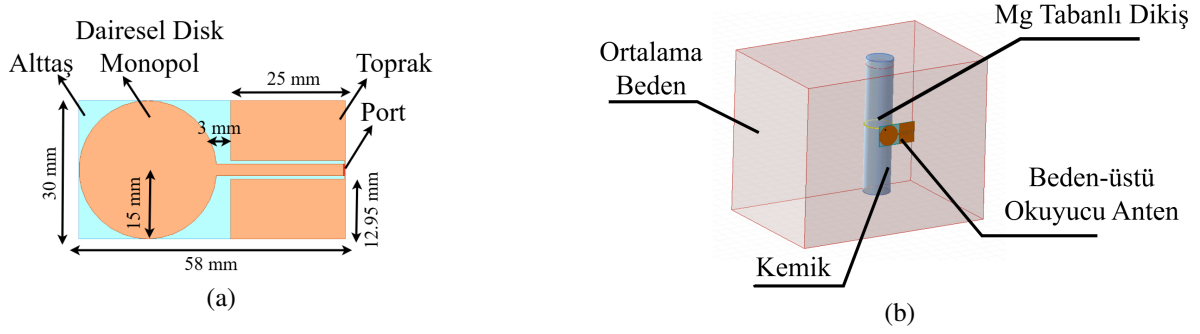
Abstract: In this study, the structural integrity of a Mg-based biodegradable suture on the sternum was wirelessly monitored using an on-body reader antenna. An ultra-wideband coplanar waveguide-fed circular disk monopole antenna was designed and optimized for operation on the human body. The wireless monitoring of suture breakage was conducted through simulations using a tissue-mimicking phantom. The alignment between the suture and antenna, as well as the effect of suture depth on tracking performance and the detection of the breakage point, were analyzed. It was demonstrated that the proposed antenna is capable of tracking breakage at depths of up to 25 mm.

1. Giriş

Ameliyat süturları yara tedavilerinde ve hasarlı dokuları onarmada kullanılan önemli medikal aletlerdendir. Süturların fiziksel, kimyasal, mekanik, yapısal ve biyolojik özellikleri sütur performansını etkiler [1]. Klinisyenler ameliyat türüne göre sütur seçimi yaparlar. İdeal bir sütur kullanımı ve sterilizasyonu kolay, enfeksiyona karşı dirençli olmalı, alerjen ve kanserojen olmamalıdır [1]. Ameliyat süturları doğal/yapay bozunur, doğal/yapay bozunmaz ve metalik olarak sınıflandırılırlar [2]. Bozunur süturlar doku içerisinde hızlı bir şekilde bozunur, gerilme dayanıklılığını 60 gün içinde kaybeder ve bedenden çıkarılmak için ikinci bir ameliyata ihtiyaç duymazlar. Bozunmaz süturlar beden içinde gerilme dayanıklılığını uzun süre korurlar ve ameliyat sonrası işleme ihtiyaç duyarlar. Sert yapıya sahip olan metalik süturlar mekanik stresten etkilenirler. [3]. Bu sorunlara çözüm olarak geliştirilen biyobozunur metalik implantlar ise insan bedeninde çözünürler. Magnezyum (Mg), demir, çinko ve bu metallerin alaşımları biyobozunur implant olarak kullanılır [4]. Mg alaşımları düşük yoğunluk, yüksek biyoyumumluluk, yüksek dayanıklılık, yüksek titreşim sönümleme kapasitesi gibi avantajlara sahiptir. Mg-tabanlı aletlerin yapısal bütünlüğünü takip etmek için literatürde optik görüntüleme yöntemleri [5], elektrokimyasal yöntemler [6] ve kablosuz sistemler geliştirilmiştir. Beden-üstü metal implantların etkilerini izlemek için beden-üstü anten tasarımları öneren çalışmalar mevcuttur [7]. Bir çalışmada ise kablosuz takip için Mg-tabanlı bir implant anten ve okuyucu antenden oluşan bir sistem önerilmiştir [8]. Yara ve ameliyat sonrası takip için özelleştirilmiş sütur tasarımları mevcuttur [9]. Ancak bu süturlar algılama mekanizmaları nedeniyle tamamen biyobozunur yapıda değildir. Bu çalışmada Mg-tabanlı süturun yapısal bütünlüğünü ve iyileşme sürecinde bozunmasını kablosuz olarak takip edecek bir beden-üstü okuyucu anten tasarımı önerilmiştir.

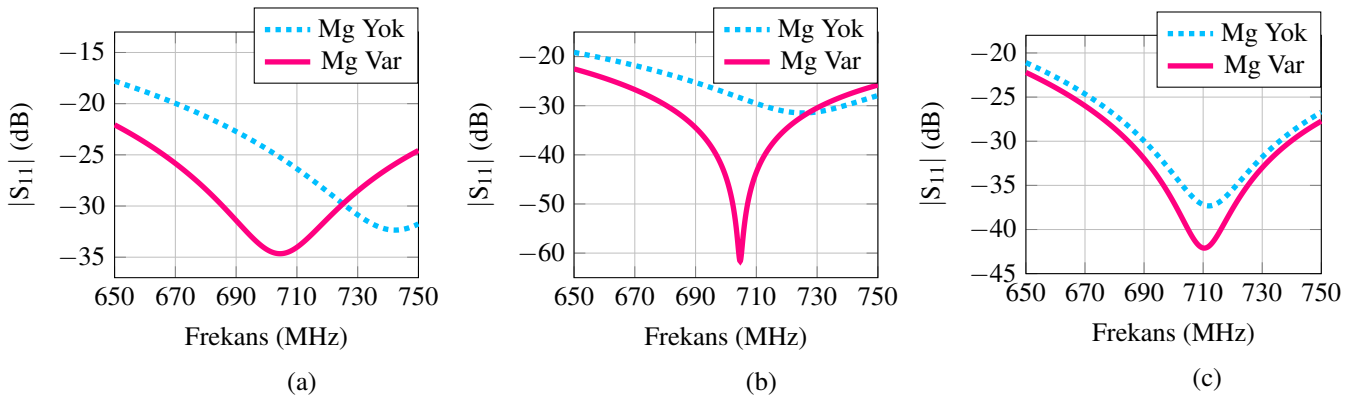
2. Sistem Tasarımı ve Benzetim Sonuçları

Önerilen sistem Mg-tabanlı sütur ve beden-üstü okuyucu antenden oluşmaktadır. Beden-üstü okuyucu anten bağlı geçirgenlik katsayısı 10.2 olan Rogers RO2310 üzerine dairesel disk monopol olarak tasarlanmış [10] ve 50 Ω 'luk bir eş-düzlemli dalgakılavuzu ile beslenmiştir. Anten, 2.8 GHz'den 10 GHz'e kadar -10 dB'lik bir ultra genişbant genişliği sağlamaktadır. İnsan modeli üzerinde anten tasarımı benzetimleri Ansys HFSS ile yapılmıştır. Anten geometrisi ve beden-üstünde çalışması için eniyileştirilmiş boyutları Şekil 1 (a)'da verilmiştir. Antenin çalışma bant genişliği besleme açıklığı, toprak düzlem genişliğine ve dairenin yarıçapına bağlıdır. 50 Ω empedans sağlayabilmek için yol genişliği 0.8 mm ve toprak aralığı 2.5 mm olarak ayarlanmıştır. Mg-tabanlı süturun takip edilmesi

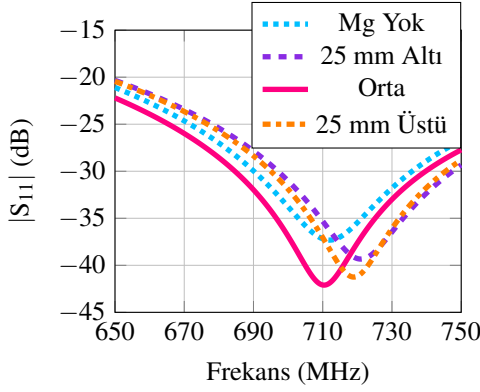


Şekil 1. (a) Anten geometrisi ve (b) benzetim modeli.

için göğüs kemiği 20 mm yarıçapa ve 20 cm uzunluğa sahip bir silindir yapısı ile insan gövdesi 20 cm x 30 cm x 24 cm ölçülere sahip bir dikdörtgen prizma olarak modellenmiştir. Silindir kemiğin (725 MHz'de 32.5920, 0.6645 S/m), dikdörtgenler prizması ise ortalama beden (725 MHz'de 12.6330, 0.1233 S/m) elektriksel özelliklerini taşımaktadır. Sayısal analiz için beden-üstü okuyucu antenin ve kemiğin modeli Şekil 1 (b)'de verilmiştir. Mg-tabanlı süturun yapısal analizi süturun beden içi derinliği ve süturun antene göre hizası değiştirilerek, ayrıca kırılma noktasının analizi olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Süturun beden içindeki derinliğinin kablosuz takibe etkisini analiz etmek için öncelikle beden-üstü okuyucu anten ile kemik arasındaki uzaklık 15, 20 ve 25 mm olarak ayarlanarak antenin yansımaya katsayısı ölçülmüştür. Daha sonra, 20 mm yarıçapa ve 1 mm kenar uzunluğuna sahip kare kesitli Mg-tabanlı sütur kemik üzerinde orta noktaya yatay ekseninde sarılmış ve antenle hizalanmıştır. Beden-üstü okuyucu anten ile sütur arasındaki uzaklık 15, 20 ve 25 mm olarak ayarlanarak benzetim gerçekleştirilmiş ve frekans cevapları Şekil 2'de verilmiştir. Beden-üstü okuyucu anten ile Mg-tabanlı sütur arasındaki uzaklık 15 mm iken Mg-tabanlı sütur varlığından tınlama frekasındaki değişim 37.5 MHz, 20 mm iken 20.50 MHz, 25 mm iken 1.50 MHz olarak gözlenmiştir. Hizalama analizi için beden-üstü okuyucu anten ile sütur arası uzaklık 25 mm olarak ayarlanmıştır. Mg-tabanlı sütur ise önce kemiğin orta noktasına antenle hizalı olarak yerleştirilerek yansımaya katsayısı ölçülmüş, daha sonra orta noktanın 25 mm üstünde ve 25 mm altında ölçümler tekrarlanmıştır. Şekil 3 (a)'da Mg-tabanlı süturun farklı konumlarında antenin yansımaya katsayısındaki değişimi gösterilmiştir. Mg-tabanlı sütur kemiğin orta noktasındayken tınlama frekansı 710.50 MHz'dir. Mg-tabanlı sütur orta noktanın 25 mm altına hareket ettirildiğinde tınlama frekansı 10.50 MHz sağa kayarken, 25 mm üstüne hareket ettirildiğinde ise tınlama frekansı 8.50 MHz sağa kaymıştır. Mg-tabanlı süturun bütünlüğü zamanla bozulabilir. Bu durum takibi etkileyeceği için kırılma noktasının tespiti oldukça önemlidir. Kırılma analizi için Mg-tabanlı süturdan 1 mm x 3 mm büyüklüğünde bir parça çıkarılmış, beden-üstü okuyucu anten ile sütur arası uzaklık 25 mm olarak ayarlanmıştır. Çıkarılan parçanın bulunduğu başlangıç noktası olarak belirlenmiş ve 20° (ϕ ekseninde) adım açısı ile döndürülerek benzetim yapılmıştır. Tablo 3 (b)'de kırılma noktasının yer değiştirmesiyle tınlama frekansının nasıl değiştiği gösterilmiştir. 360° açığa tamamlanan dönüş açılarına karşılık gelen ilk tınlama frekansları sırasıyla Şekil 3 (b)'nin ikinci ve üçüncü sütununda verilmiştir.



Şekil 2. Mg tabanlı süturun antene olan farklı uzaklıklardaki yansımaya katsayısındaki değişimi: (a) 15 mm, (b) 20 mm, (c) 25 mm.



(a)

Dönüş Açısı Çiftleri	Frekans (MHz)	Frekans (MHz)
0°/360°	703.75	703.75
20°/340°	702.50	702.50
40°/320°	703.75	700.00
60°/300°	711.25	707.50
80°/280°	712.50	716.25
100°/260°	710.00	713.75
120°/240°	711.25	712.50
140°/220°	712.25	713.75
160°/200°	718.75	716.25

(b)

Şekil 3. (a) Anten-sütür hizalamasında farklı konumlarda yansıma katsayısındaki değişimi ve (b) birbirini 360°'ye tamamlayan açı çiftlerinin tınlaşım frekansları.

3. Sonuç

Bu çalışmada, Mg-tabanlı süturun yapısal takibini sağlayan bir sistem sunulmuştur. Mg-tabanlı sütür derinliğinin ve Mg-tabanlı sütür ile anten hizasının takip performansına etkisi ve süturun kırılma noktasının belirlenmesi analiz edilmiştir. 25 mm uzaklığa kadar Mg-tabanlı süturun varlığı, hizalamadaki değişimlerin ve kırılma noktasının kablosuz olarak takip edilebilir olduğu gösterilmiştir. Deneysel çalışma ile benzetim sonuçlarının doğrulanması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Narasimhan A. K., Rahul T. S., Krishnan S., "Revisiting the properties of suture materials: an overview," Advanced Technology and Polymer Materials for Surgical Sutures, UK: Woodhead Publishing, s. 199-235, 2023.
- [2] Li Y., "Advances, challenges, and prospects for surgical suture materials," Acta Biomaterialia, cilt.168, s.78-112, Eylül 2023.
- [3] Tsakiris V., "Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants—A review," Journal of Magnesium and Alloys, cilt.9 no.6, s.1884-1905, Kasım 2021.
- [4] Seitz J. M., "Recent advances in biodegradable metals for medical sutures: A critical review," Advanced Healthcare Materials, cilt.4, no.13, s.1915–1936, Temmuz 2015.
- [5] Mathew A., "In vivo analysis of a biodegradable magnesium alloy implant in an animal model using near-infrared spectroscopy," Sensors, cilt.23, no.6, s.3063, Mart 2023.
- [6] Zhao D., "Visual hydrogen mapping sensor for noninvasive monitoring of bioresorbable magnesium implants in vivo," JOM, cilt.72, s.1851-1858, Şubat 2020.
- [7] Särestöniemi M., "Comprehensive study on the impact of sternotomy wires on UWB WBAN channel characteristics on the human chestArea," IEEE Access, cilt.7, s.74670-74682, Mayıs 2019.
- [8] Ararat K., "A biodegradable implant antenna detecting post-surgical infection," 14th European Conference on Antennas and Propagation, Kopenhag, Danimarka, s.1-4, 2020.
- [9] Kalidasan V., "Wirelessly operated bioelectronic sutures for the monitoring of deep surgical wounds," Nature Biomedical Engineering, cilt.5, no.10, s.1217-1227, Ekim 2021.
- [10] Liang J., "CPW-fed circular disc monopole antenna for UWB applications," IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, Singapur, 2005, s.505-508.