

Mikrodalga Ablasyon Tedavisi ve Ablasyon Bölgesi Takibi için Koaksiyel Yarık Anten Tasarımı

Ahmet Bilir, Sema Dumanlı
Boğaziçi Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul
ahmet.bilir@boun.edu.tr, sema.dumanli@boun.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, mikrodalga ablasyon tedavisi ve takibi için koaksiyel yarık anten dizisi tasarımı sunulmuştur. Dokunun elektriksel özellikleri sıcaklığa bağlı olduğundan, ablasyon esnasında dokunun elektriksel özellikleri değişir. Bu, anten dizisi elemanları arasındaki iletim katsayısını etkiler. Çalışmada, iletim katsayısındaki değişimle ablasyon bölgesi izlenebilmesinin mümkün olduğu termal ve elektromanyetik benzetimlerle gösterilmiştir. Dizi elemanı olarak 2.45 GHz'te çalışan koaksiyel yarık anten tasarlanmıştır. Termal benzetimler sonucu elde edilen sıcaklık haritaları elektromanyetik benzetime beslenmiş ve sıcaklığa bağlı elektriksel özellikler kullanılarak iletim katsayısının değişim incelenmiştir. Dizideki her antene 10 W güç verildiğinde, 300 saniye sonunda iletim katsayısı rezonansında 100 MHz kayma, büyüklüğünde 2.5 dB değişiklik olduğu gözlenmiştir.

Abstract: In this paper, an antenna array for microwave ablation and monitoring is presented. The electrical properties of the tissue is a function of the temperature. Therefore, the electrical properties of the tissue during ablation treatment changes, which affects the transmission coefficient of the antennas. In this paper, a coaxial slot antenna operating at 2.45 GHz is designed. The outputs of thermal simulations is fed into the electromagnetic simulations and the change in the transmission coefficient is observed. A significant change is observed in the transmission coefficient after 300 seconds of treatment when the input power is 10 W per antenna.

1. Giriş

Modern görüntüleme tekniklerinin gelişmesiyle beraber boyut olarak küçük ve cerrahi olarak çıkarılması mümkün olmayan tümörlerin tedavisinde termal ablasyon tekniklerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Termal ablasyon yöntemlerinin temel prensibi hedef doku sıcaklığının değiştirilerek kanser hücrelerinin tahrip edilmesidir. Termal ablasyon tekniklerinden radyofrekans, mikrodalga (MWA), lazer ve ultrason ablasyon sıcaklığın lokal olarak artırılmasıyla hedef dokuyu tahrip ederek, kriyoablasyon ise hedef bölgeyi dondurarak tümör tedavisini amaçlamaktadır. Bu yöntemler karaciğer, prostat, böbrek, akciğer, meme ve tiroit kanseri tedavisinde kullanılabilir. Tedavi yöntemi tümörlü dokunun yapısına ve bulunduğu bölgeye göre belirlenmektedir. MWA'nın diğer yüksek sıcaklık termal terapilerine göre avantajı daha kısa zamanda daha yüksek sıcaklıklara ulaşarak tedavinin daha kısa süresinin daha kısa olmasıdır.

MWA yönteminde, moleküllerin değişen elektrik alan altında titreşmesiyle açığa çıkan ısı, doku sıcaklığının hızlı bir şekilde 60°C'nin üzerine çıkmasına sebep olur. MWA ablasyonun diğer bir yararı ise birden fazla aplikatör kullanarak daha kısa sürede geniş bir ablasyon bölgesinin elde edilebilmesidir. Fakat kısa sürede büyük bir ablasyon bölgesi oluştuğundan, ablasyon bölgesi büyüklüğünün tedavi esnasında gerçek-zamanlı takibi, tümörlü doku etrafındaki sağlıklı dokulara zarar vermemek için önem taşımaktadır.

Klinik uygulamalarda ablasyon bölgesinin büyüklüğü basit bir şekilde takip edilememektedir. Örneğin, karaciğer tümörleri için MWA aplikatörünü karakterize etmek amacıyla, farklı anten giriş güçleri için ablasyon boyutları ve ablasyon süreleri, ex-vivo sığır karaciğeri üzerinde alınan ölçümlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak tablolaştırılmıştır. Bu ölçümler, klinik prosedür sırasında kılavuz olarak kullanılır. Bununla birlikte, hastanın karaciğerinin elektriksel özellikleri, ex-vivo sığır karaciğerinden oldukça farklı olabilir. Bu nedenle ölçülen boyutlar, in-vivo doku ablasyonu için hatalı sonuçlara yol açabilir. Bu sebeple uygulama sırasında ablasyon bölgesinin gerçek zamanlı izlenmesi önem kazanmaktadır. Mevcut MWA sistemlerinde en sık kullanılan gerçek zamanlı izleme teknikleri bilgisayarlı tomografi ve ultrasondur. Fakat ekstra görüntüleme yöntemi kullanmak yerine ablasyon sisteminin kendisi ile ablasyon bölgesinin takibi tedavi sürecini kolaylaştıracak ve tedavi maliyetini azaltacaktır.

Karaciğer dokusunun dielektrik sabiti, ϵ_r ve iletkenliği, σ , doku sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir [1]. Doku sıcaklığı arttıkça karaciğerin hem ϵ_r , hem de σ 'sı önemli ölçüde düşer. Tedavi sırasındaki sıcaklık artışından kaynaklanan, dokunun elektriksel özelliklerindeki değişim kullanılarak ablasyon bölgesi büyüklüğü gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Literatürdeki çalışmalarda, genellikle, dokunun elektriksel özelliklerdeki değişimin antenin

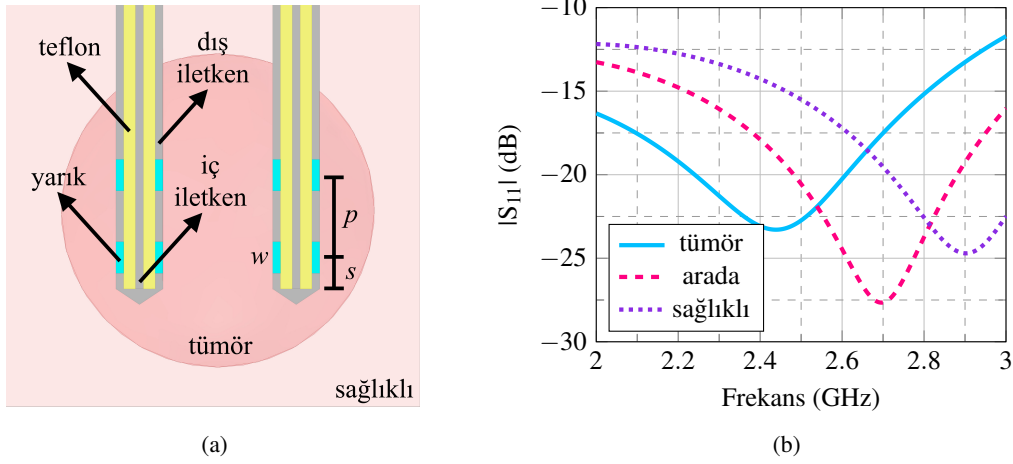
yansımaya katsayısına etkisi incelenerek ablasyon bölgesi takibi yapılması önerilmiştir [2]-[4]. Fakat yansımaya katsayısının etkisi antenin yakın alanıyla sınırlı olduğundan, bahsedilen çalışmalarda ablasyon bölgesi takibi sınırlı bir alan için geçerlidir. Ablasyon bölgesi takip alanını artırmak için yansımaya katsayısı yerine iletim katsayısı kullanılabilir. [5]'te iletim katsayısının ablasyon takibinde kullanılabileceğine dair ön ölçümler alınmıştır.

Bu çalışmada, MWA tedavisi ve ablasyon bölgesi takibinde kullanılmak üzere koaksiyel yarık anten dizisi tasarımı sunulmuştur. Termal ve elektromanyetik benzetimlerle, antenler arasındaki iletim katsayısı kullanılarak ablasyon bölgesi takibinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

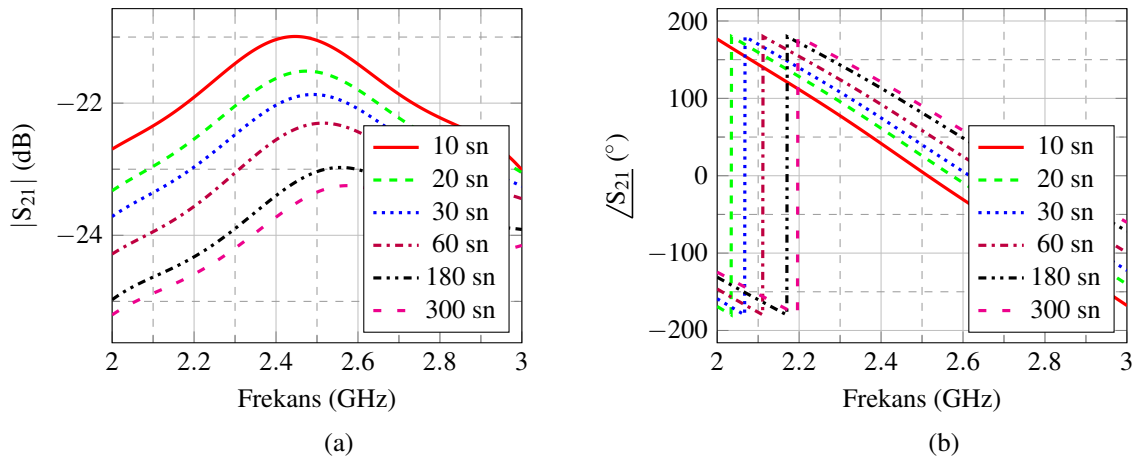
2. Anten Tasarımı ve Benzetim Sonuçları

Anten geometrisi ve benzetim modeli Şekil 1 (a)'da verilmiştir. Her yarığın genişliği (w), yarıklar arasındaki mesafe (p) ve antenin ucuyla yarık arasındaki uzaklık (s) sırasıyla 0.6 mm, 9.2 mm ve 1.5 mm'dir. İç iletken, yalıtkan ve dış iletken yarıçapları sırasıyla 0.1 mm, 0.33 mm ve 0.43 mm'dir. İletken olarak paslanmaz çelik ve yalıtkan olarak PTFE seçilmiştir.

Antenler küresel bir tümör içerisinde modellenmiştir. Literatürde, 37°C 2.45 GHz'te tümörün dielektrik sabiti ve iletkenliği 55 ve 1.99 S/m, sağlıklı dokunun dielektrik sabiti ve iletkenliği 43 ve 1.69 S/m'dir. Anten beden içinde ilerlerken, dokuların elektriksel özelliklerindeki farklardan dolayı yansımaya katsayısı Şekil 1 (b)'deki gibi değişmektedir. Dolayısıyla, antenin tümör içine yerleşip yerleşmediği yansımaya katsayısıyla anlaşılabilir.



Şekil 1. (a) Anten geometrisi ve model ve (b) anten, sağlıklı dokudan tümöre doğru ilerlerken yansımaya katsayısındaki değişim [6].



Şekil 2. Ablasyon başladıktan sonra farklı zamanlardaki iletim katsayısının (a) büyüklüğü ve (b) fazı [6].

Sağlıklı dokuyu, tümörü ve antenleri içeren termal benzetim [1]'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Sağlıklı

doku $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ boyutlarına bir dikdörtgenler prizması, tümör ise yarıçapı 20 mm olan bir küre olarak modellenmiştir. Her antenin giriş gücü 10 W, uygulama süresi 300 saniye olarak belirlenmiştir ve antenler arasındaki mesafe 20 mm'dir. Termal ve elektromanyetik benzetimler tekrarlamalı bir şekilde yapılmıştır. Bu benzetimlerde literatürde verilen, dokuların sıcaklığa bağlı elektriksel ve termal özellikleri kullanılmıştır. Elektromanyetik benzetimde, antenler arasındaki iletim katsayısı farklı zamanlardaki doku sıcaklıkları için hesaplanmıştır. Şekil 2, zaman ilerledikçe iletim katsayısının nasıl değiştiğini göstermektedir. Ayrıca, iletim katsayısı fazındaki değişimle de ablasyonu takip etmek mümkündür.

3. Sonuç

Bu çalışmada hem ablasyon tedavisi hem de ablasyon büyüklüğünün gerçek zamanlı takibini yapabilen bir koaksiyel yarık anten dizisi önerilmiştir. Uygulama esnasında, dokunun sıcaklığı değiştiğinden, elektriksel özellikleri de değişmektedir. Bu değişimle, antenler arasındaki iletim katsayısını etkilemektedir. Termal ve elektromanyetik benzetimlerle ablasyon bölgesi takibi gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] B. Radjenović, M. Sabo, L. Šoltes, M. Prnova, P. Čičak, & M. Radmilović-Radjenović, "On Efficacy of Microwave Ablation in the Thermal Treatment of an Early-Stage Hepatocellular Carcinoma", *Cancers*, 13(22), 5784. doi:10.3390/cancers13225784
- [2] H. Fallahi, "Antenna and System Design for Controlled Delivery of Microwave Thermal Ablation", Order No. 27960101, Kansas State University, Ann Arbor, 2020.
- [3] C. Hessinger née Reimann et al., "A Dual-Mode Coaxial Slot Applicator for Microwave Ablation Treatment," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, cilt. 67, no. 3, s. 1255-1264, Mart 2019, doi: 10.1109/TMTT.2018.2880440.
- [4] Reimann, Carolin, Schüßler, Martin, Jakoby, Rolf, Bazrafshan, Babak, Hübner, Frank and Vogl, Thomas. "A Dual-Mode Microwave Applicator for Liver Tumor Thermotherapy " *Frequenz*, cilt. 72, no. 3-4, 2018, s. 141-149. <https://doi.org/10.1515/freq-2018-0007>
- [5] N. Zeinali, et al., "Electromagnetic transmission coefficient-based assessment of tissue state during microwave ablation", 2022 Design of Medical Devices Conference. <https://doi.org/10.1115/dmd2022-1037>
- [6] A. Bilir, O. K. Erden ve S. Dumanli, "Coaxial Slot Antenna Array Design for Microwave Ablation and Monitoring," 2022 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC), Gran Canaria, İspanya, 2022, s. 1-4, doi: 10.23919/AT-AP-RASC54737.2022.9814337.