

MİKRODALGA UYARIMLI TERMOAKUSTİK GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Betül Samancı, Ali Temel Hacıhamzaoğlu, Metin Yazgı, Selçuk Paker, Mustafa Karaman
İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul

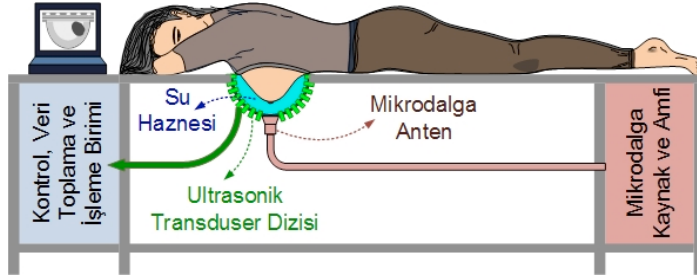
betullsamanci@gmail.com, alitemelkho@gmail.com, yazgim@itu.edu.tr, spaker@itu.edu.tr,
karamanmustafa@itu.edu.tr

Özet: Meme kanseri, kadınlarda kanserin neden olduğu ölümlerde ilk sırada olup buna bağlı ölümlerin azaltılmasında erken teşhis kritik öneme sahiptir. Termoakustik görüntüleme, kanserin erken teşhis ve izlenmesinde kullanılma potansiyeli yüksek olan zararsız yeni görüntüleme modalitesidir. Mikrodalga uyarımlı termoakustik görüntüleme (MUTAG), mikrodalga tomografisinin kontrast avantajı ile ultrasonik görüntülemenin yüksek nokta çözünürlüğünü birleştiren bir tekniktir. Bu çalışmada, mikrodalga darbe üretici, güç amfisi, anten ve akustik transdüser ünitesinden oluşan mikrodalga uyarımlı termoakustik görüntüleme sistemi geliştirilmek üzere deneysel prototip oluşturulmuş ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

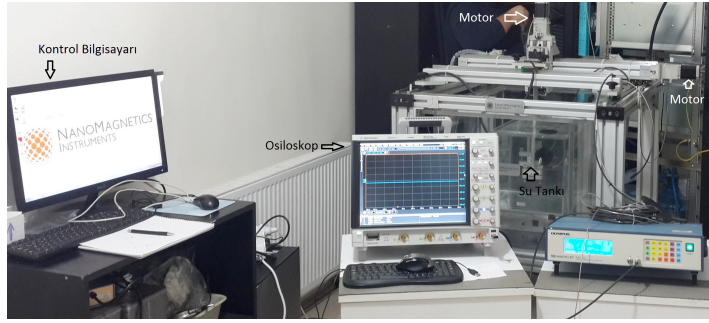
Abstract: The breast cancer is the number one at cancer caused deaths at women, where early diagnosis and follow-up are critically important in reducing cancer risks. Microwave induced thermoacoustic imaging is a non-ionizing (harmless) technique which combines contrast advantage of microwave and high point resolution of ultrasound imaging, and hence possesses great potential for cancer imaging. We designed and constructed a microwave induced thermoacoustic imaging system consisting of a microwave pulse generator, a power amplifier, an antenna and acoustic transducers. In this presentation we present the progress of system development along with the initial experimental imaging test results.

1. Giriş

Meme kanserine yakalanma yaşla artmakta ve elli yaşın üzerindeki kadınlarda kanser tanısı oranı yaklaşık yüzde yetmişdir. Meme kanseri, kadınlarda kanserin neden olduğu ölümlerde ilk sırada olmakla birlikte diğer kanser türlerinde olduğu gibi meme kanseriyle mücadelede ve buna bağlı ölümlerin azaltılmasında erken teşhis kritik öneme sahiptir. Meme kanserinin tanı ve izlenmesinde günümüzde mamografi ve ultrason en yaygın kullanılan tıbbi görüntüleme araçlarıdır. Mamografi, maliyeti düşük bir teknik olmakla birlikte kullanılan x-ışınının kanseri tetikleyici-arttırıcı (zararlı) yan etkisi vardır. Öte yandan, beze dokuları gibi bazı dokuların mamografi ile tanısında zorluklar vardır. Mamografiye kıyasla çok daha yüksek dozlarda x-ışını uygulanmasını gerektiren bilgisayarlı tomografi ise meme kanseri tespit amaçlı uygulamalarda kullanılmamaktadır [1,2]. Ultrasonik görüntüleme, zararlı yan etkisi olmayan düşük maliyetli bir görüntüleme tekniğidir. Ultrasonik görüntülemenin noktasal çözünürlüğü yüksek ancak kontrast çözünürlüğü zayıftır; bu bazı kanser türlerinin erken tanısını, iyi ve kötü huylu tümörlerin ayırılmasını zorlaştırmaktadır [2]. Meme görüntülemesinde, kontrast ajanlı manyetik rezonans, kötü huylu kanserin tespitinde başarılı sonuçlar vermektedir, ancak bu görüntüleme tekniği göreceli olarak oldukça pahalı ve meme kanserinin görüntülenmesinde gerekli klinik uygulama protokolleri henüz standartlaşmamıştır. RF ve mikrodalga meme tomografisi, dokuların elektriksel özelliklerinin farklı olması ilkesine dayanan, yüksek kontrast çözünürlüğü potansiyeli olan ve iyonize edici (zararlı) yan etkisi bulunmayan, ancak noktasal çözünürlüğü zayıf olan yeni bir tekniktir. Mikrodalga tomografi dokuların elektromanyetik parametrelerini, ultrason dokuların mekanik parametrelerini, termoakustik görüntü ise dokuların elektromanyetik enerjiyi soğurma ve ısı parametrelerini yansıtır[3,4]. Görüntüleme derinliği, frekansla artan dalga sönümlenmesi nedeniyle sınırlanmaktadır; bu bakımdan fotoakustik etkiye dayalı meme görüntülemesi için mikrodalga bandında uyarım uygun bir seçenektir. MUTAG, mikrodalga tomografisinin kontrast avantajı ile ultrason görüntülemenin yüksek noktasal çözünürlük özelliklerini birleştiren bir tekniktir. Bu bildiride araştırma grubumuz tarafından geliştirilmekte olan mikrodalga uyarımlı termoakustik görüntüleme sistemi ve ilk deneysel test sonuçları sunulmaktadır.



Sistemin genel şematik yapısı.



Deneyel veri toplama düzeneği.



Mikrodalga darbe kaynağı ve amfisi.

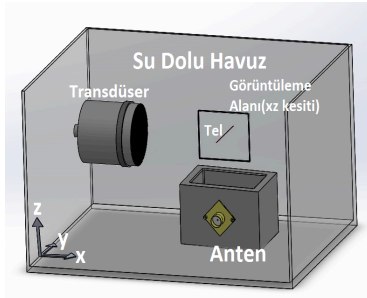
Şekil 1. MUTAG deneyel sistemi.

2. Termoakustik Görüntüleme Sistemi

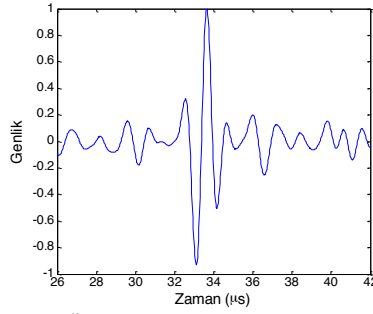
Termoakustik görüntüleme sistemi, mikrodalga darbe üretici, güç amfisi, anten ve akustik transduser alt bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). MUTAG sisteminin görüntü kalitesini, temel olarak mikrodalga uyarım ve akustik veri toplama işlemleri belirlemektedir. Düşük dalga sönümü için GHz altında bir frekans olarak 850 MHz çalışma frekansı seçilmiştir; bu frekansta 50-500ns arasında bir genişlikte bir darbe kaynağı ve 10 kW tepe gücüne sahip su soğutmalı bir amfi ünitesi üretilmiştir. Burada kullanılan mikrodalga tepe gücü, dokuya zarar vermeyecek şekilde yasal sınırlamanın altındadır [5, 6]. Sisteminde kullanılacak anten için ilk tasarlanan anten (dikdörtgen dalga kılavuzu) boyutları, hava ortamı ($\epsilon_r=1$) ve 850 MHz çalışma frekansı esas alınarak $24\text{cm}\times 17.5\text{cm}\times 8\text{cm}$ olarak hesaplanmıştır. Bu anten HFSS (High Frequency Simulation Software) incelenmiş ve ardından üretilerek deneyel olarak test edilmiştir. Bu antenin yayını hava ortamından suya geçerken çok yüksek oranda yansımaya maruz kalması nedeniyle görüntü ortamına yeterli mikrodalga güç aktarılamadığı simülasyon ve deneyel çalışmalarda gözlemlenmiştir. Anten ebadının organ (meme, beyin vb) boyutlarına kıyasla büyük olması ve antenin dışarda olmasını zorunlu kılan bir neden olmaması dikkate alınarak yansımaları azaltmak için empedans uyum katmanı kullanılması yerine tamamen su içinde 850 MHz frekansında çalışacak bir anten tasarlanması daha verimli bir çözüm olarak görülmüştür. Bu bağlamda, su ortamında çalıştırılmaya üzere $40\text{mm}\times 25\text{mm}\times 35\text{mm}$ boyutlarında bir anten tasarlanmış HFSS ile incelenmiş ardından üretilerek deneyel olarak test edilmiştir. Bu test sonuçları, bu anten ile beklentisi üzere, doku içine daha yüksek güçte yayını yapma olanaklı hale gelmiştir. Dolayısıyla, su ortamında çalışan anten (hava dolu antenle kıyasla), ortam geçişindeki yansımaya problemini bertaraf ederken, daha küçük boyut olması nedeniyle MUTAG sistemi için daha verimli bir sistem bileşeni özelliğine sahiptir.

3. Deneyel Sonuçlar

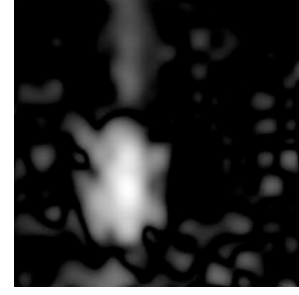
Geliştirilen termoakustik görüntüleme sisteminin, alt birimleri işlevsel olarak test edildikten sonra, sistemin ilk görüntüleme testleri için Şekil 2'de verilen düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenekte, tasarlanan mikrodalga anten ve odaklı bir transduser su dolu bir hazne içine yerleştirilmiştir. Transduser 70 mm çapında olup 50 mm odak uzaklığına sahip, 1 MHz merkez frekansına ve yaklaşık %50 oransal bant genişliğine sahip PZT tabanlı malzemeden özel imalat olarak üretilmiştir. Deneyde, 850 MHz merkez frekansında yaklaşık 200 ns



Deneysel düzenek.



Örnek termoakustik işaret.



Termoakustik görüntü (40dB).

Şekil 2. Deneysel termoakustik sonuçlar.

genişliğinde 10 kW tepe gücüne sahip mikrodalga darbe kullanılmıştır. Düzenek Şekil 2’de gösterilen bilgisayar 2 kontrollü xyz-uzayında adımlı konumlandırma yapabilen sistem ile kontrol edilmektedir. Termoakustik görüntüleme nesnesi olarak ise 0.5 mm çapında bakır bir tel antenin üstüne yerleştirilmiştir. Telin kesit görüntüsünü çıkarmak için transduser bilgisayar kontrollü olarak xz -düzleminde 10 mm \times 10mm boyutlarındaki bir kesitte 0.5 mm adımlarla hareket ettirilmiştir, her adımda bir termoakustik işaret alınmış; toplamda 21 \times 21 adet deney düzeneği ile otomatik olarak toplanmıştır. Transduser çıkışı 60 dB kazanca sahip RF amfi ile güçlendirilerek sayısal olarak kaydedilmiştir. Alınan termoakustik işaretlerden bir örnek Şekil 2’de verilmiştir. Termoakustik veri toplama öncesinde, dürtü-yansı işareti yardımıyla transduserin odak noktası telin üzerine gelecek şekilde konumlandırma ayarı yapılmıştır. Alınan işaretler, akustik görüntüleme doğrusal tarama (linear scan) olarak bilinen yöntemle B-tarama (brightness mode) görüntüsüne dönüştürülmüştür. Bunun için, alınan her termoakustik işaret bant geçiren filtreden geçirildikten sonra zarfı alınmıştır. Zarfı alınmış işaretlerin telin bulunduğu uzaklığa karşılık gelen örneklerden oluşturulan görüntü 40-dB genlikte gri skalalı olarak Şekil 2’te verilmiştir. Bu görüntü, grubumuzca geliştirilmekte olan termoakustik görüntüleme sistemiyle elde edilen ilk deneysel görüntüdür. Bilindiği üzere, bu görüntünün ideal koşullarda bir noktasal kaynak olarak görünmesi gerekir ancak dikey yöndeki çözünürlüğü transduserin yanal çözünürlüğü ile yatay çözünürlüğü ise transduserin eksenel çözünürlüğü ile belirlenmesi nedeniyle bu görüntü beklenildiği üzere kullanılan transduserin noktasal dağılım fonksiyonunun xz -düzlemindeki kesitine karşılık gelmektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada geliştirilen mikrodalga uyarmalı bir termoakustik görüntüleme sistemi ve ilk deneysel test sonuçları sunulmuştur. Bu sistemde, içi su dolu görüntüleme haznesi dışından uyarma yapmak için hava ortamına göre tasarlanmış bir anten tasarlanmış ancak hava-su (doku) arayüzündeki yansıma nedeniyle doku içine mikrodalga yayınının termoakustik işaret alınmayacak düzeyde zayıfladığı görülmüştür. Buna çözüm olarak, empadans uyumlama teknikleri yerine, tamamen su içinde gömülü kullanılmak üzere anten tasarlanarak su ortamından termoakustik işaretler alınabilmektedir. Araştırma grubumuz, mikrodalga darbe gücünü artırma, yönlü horn antenle uyarma ve çoklu transduserli tarama ile MUTAG sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmaktadır.

Teşekkür: Bu çalışma, 213E038 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Kruger, R. A., Kopecky, K. K., Aisen, A. M., Reinecke, D. R., Kruger, G. A., Kiser, W. L. Jr., “Thermoacoustic CT with radiowaves: A medical imaging paradigm, Radiology”, 211, s. 275-278, 1999.
- [2]. Xu, M., Wang, L. V., “Photoacoustic imaging in biomedicine”, Rev. Sci. Instrum., 77, 4, 041101, s.1-22, 2006.
- [3]. Wang, L.V., Zhao, X., Sun, H., Ku, G., “Microwave-induced acoustic imaging of biological tissues”, Review of Scientific Instruments, 70 (9), s. 3744-3748, 1999.
- [4]. P. Beard, “Review: Biomedical photoacoustic imaging”, Interface Focus, s.1-29, 2015.
- [5]. Sergieiev, O., “Requirements analysis and modelling of an antenna element for breast cancer microwave imaging”, ME Thesis, Auckland University of Technology, 2010.
- [6]. IEEE-SA Standards Board, IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz., IEEE Std C95.1, 1999 Ed.