



*Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology*

*Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 30, Sayı (Issue): 4, Eylül/September-2014

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



## Meme kanseri görüntülemesinde mikrodalganın yeri

M. Berkan BİÇER<sup>1</sup>, E. Avşar AYDIN<sup>2</sup>, Ali AKDAĞLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin  
<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

### ÖZET

2009 yılı sağlık istatistiklerine göre Türkiye’de kanser hastalığı, ölüm nedenleri arasında kalp ve damar hastalıklarının arkasından ikinci sırada yer almaktadır. Erkeklerde akciğer kanseri ve kadınlarda ise meme kanseri, sırasıyla, %69.2 ve %40.7 görülme sıklığı oranı ile ilk sırada yer almaktadır. Kötü huylu hücrelerin kontrolsüz bir şekilde çoğalarak başka dokulara yayılabilmesi, kanser tespitinin erken evrede yapılmasının önemini göstermektedir. Meme kanseri, görüntülemesi diğer kanser türlerine göre nispeten daha kolay bir kanser türüdür. Meme kanserinin tespit ve görüntülemesinde kullanılan birincil yöntem X-ray mamografidir. Ancak görüntüleme sırasında memenin sıkıştırılması ve düşük güçlü de olsa düşük güçlü de olsa iyonize edici olan X ışınının kullanılması, X-ray mamografinin en önemli dezavantajlarıdır. Bu dezavantajlar, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve ultrason görüntüleme (USG) gibi yöntemlerin geliştirilmesinde ve meme kanseri görüntülemesinde kullanılışında önemli etken olmuştur. Bu yöntemlerin sahip olduğu pahalılık ve kanserli dokular için düşük belirginlik gibi olumsuzluklar, araştırmacıları nispeten yeni bir yöntem olan mikrodalga tabanlı görüntüleme tekniğine yöneltmiştir. İyonize etmeyen mikrodalga frekanslarında çalışan mikrodalga görüntüleme, kanserli ve normal dokuların dielektrik özellikleri arasındaki karşıtlığı kullanarak görüntüleme yapmaktadır. Mikrodalga görüntüleme, mevcut bilinen X-ray mamografinin ve diğer yöntemlerin dezavantajlarını aşabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, henüz ar-ge safhasında olan mikrodalga görüntüleme yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırmalı bilgiler verilmiştir.

### Anahtar

### Kelimeler:

manyetik rezonans görüntüleme, meme kanseri, mikrodalga görüntüleme, ultrason görüntüleme, tümör tespiti, x-ray mamografi.

## The state of microwave in breast cancer imaging

### ABSTRACT

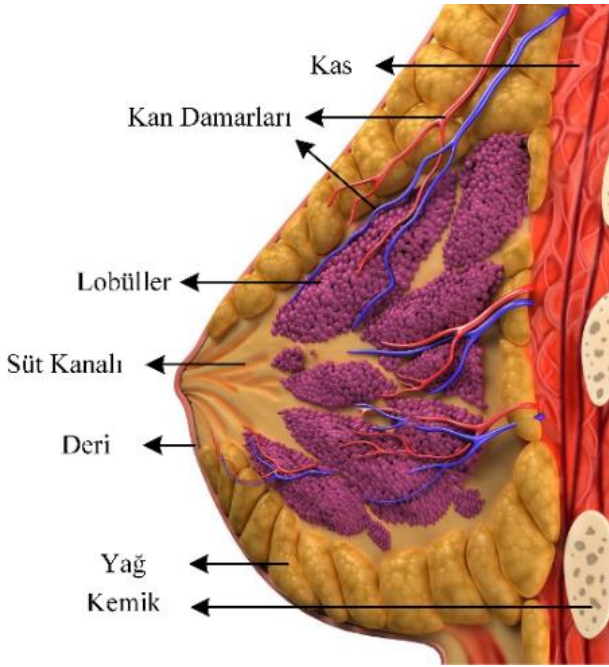
According to health statistics in Turkey in 2009, cancer is the second in the causes of death ranks after cardiovascular diseases. Lung cancer incidence in men and breast cancer incidence in women ranks first with rates 69.2% and 40.7%, respectively. Reproducing of the malignant cells in an uncontrolled way and spreading to the other tissues show the importance of early stage cancer detection. Breast cancer imaging is relatively easier compared to other types of cancer. The primary method used for detection and imaging of breast cancer is X-ray mammography. However, the compression of the breast during imaging and use of the low-power, albeit low, ionizing X-ray are the most important disadvantages of X-ray mammography. These disadvantages became key factors for the development of the methods such as magnetic resonance imaging (MRI) and ultrasound imaging (USG) in breast cancer imaging. Due to low specificity for cancerous tissue and expensiveness of MRI and USG, researchers have led to develop microwave-based imaging techniques which is a relatively new method. Microwave imaging working on non-ionized microwave frequencies uses the contrast between the dielectric properties of cancerous and normal tissues for imaging. Microwave imaging, have the potential to overcome the some drawbacks of the well-known X-ray mammography and other existing known methods. In this study, microwave imaging techniques that currently at the stage of R&D are examined and comparative information is given.

### Key Words:

breast cancer, magnetic resonance imaging, microwave imaging, ultrasound imaging, tumor detection, x-ray mammography.

## 1. Giriş

Sebepl olduğu ölümler göz önüne alındığında, tüm kadınlar için ciddi bir sorun haline gelen meme kanseri, göğüs dâhil, köprücük kemiği ve koltuk altı arasındaki geniş alanı kapsayan ve göğüs kasları üzerine uzanan meme dokusunda oluşmaktadır [1]. Her meme, süt kanalları, meme bezleri ve yağ dokusundan oluşmakta ve lob olarak adlandırılan 15 – 20 adet bağımsız süt üreten doku içermektedir. Her lob, kendi içinde lobül adı verilen 20 – 40 adet daha küçük alt dokuya; her lobül de yine kendi içinde alveol adı verilen ve esas süt üreten hücrelerin toplandığı çok sayıda bölüme ayrılır. Üretilen süt alveollerden duktül adı verilen kanalcıklara, oradan da duktus adı verilen büyük kanallara geçerek dışarı taşınmaktadır. Lobüller ve süt kanalları arası boşluklar Şekil 1'de görüldüğü gibi yağ dokusu ile doludur [2].



Şekil 1. Memenin iç yapısı [2]

Her kadının göğüs yapısı, doğaları gereği sahip oldukları regl döngüsünden dolayı farklıdır. Aynı zamanda, meme dokusunun yapısı, yaşa bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, genç kadınların meme dokusunda meme bezleri ve süt kanalları var iken yaşlı kadınların meme dokusunda çoğunlukla yağ dokusu bulunmaktadır.

Meme kanseri oluşumunun temel sebebi, hücrelerin büyümesini denetleyen genlerde meydana gelebilen mutasyonlar veya anormal değişikliklerdir [1]. Sağlıklı bir hücre ne zaman ve nerede bölünebileceğini bilme yeteneğine sahiptir. Buna karşın, bu bilinci kaybeden hücreler kontrolsüz bir şekilde bölünerek kanserli hücreleri oluşturmaktadır. Meme kanseri genellikle lobüllerde ya da süt kanallarında ortaya çıkmaktadır.

2009 yılı verilerine göre ülkemizdeki ölüm nedenlerinin cinsiyete göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir [3]. Tablodan görüldüğü gibi, Türkiye'de kanser, ölüm nedenleri arasında kardiyovasküler (kalp ve damar ile ilgili) rahatsızlıklardan sonra ikinci sırada gelmektedir. Kanser kaynaklı ortalama ölüm oranı 2002 yılında %12 iken [4] 2009'da bu oran %20.2 seviyesine çıkmıştır. Yine, aynı araştırmalara [3, 4] göre ülkemizde ve dünyada 2. sırada yer alan (2009 verilerine göre) kanser kaynaklı ölümlerin, 2015 yılından itibaren 1. sıraya yükseleceği beklenmektedir.

Tablo 1. 2009 verilerine göre Türkiye'de ölüm nedenlerinin cinsiyete göre dağılım oranları [3]

Ölüm Nedeni	Yüzde oran (%)	
	Erkek	Kadın
Kalp ve damar hastalıkları	36.2	44.4
Kanser	24.4	16
Solunum yolu hastalıkları	10.1	7.4
Metabolik hastalıklar	4.8	8.3
Zehirlenme ve travma	4.9	2.8
Diğer	19.6	21

Kanserler çeşitli dokularda gelişebilmekte ve geliştiği dokuya göre isimlendirilmektedir. Bir insan, aynı anda birden fazla kanser hastalığına sahip olabilmektedir. Cinsiyetlere göre kanser türlerinin görülme sıklığı Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Cinsiyete göre kanser görülme sıklığı [3]

Erkek		Kadın	
Kanser Türü	%	Kanser Türü	%
Akciğer	69.2	Meme	40.7
Prostat	37.6	Tiroid	16.2
Mesane	21.7	Kolorektal	13.2
Kolorektal	20.8	Uterin Korpus	8.6
Mide	18	Akciğer	8.2
Larinks	9.1	Mide	7.7
NHL	6.9	Over	6.9
Beyin, sinir sistemi	6.1	NHL	5
Pansreas	6.1	Beyin, sinir sistemi	4.4
Böbrek	5.8	Serviks	4.1
Tiroid	3.9	Mesane	3
Meme	0.8	Larinks	0.5

Erken tanı, dünyada akciğer kanserinden sonra en sık görülen meme kanserine bağlı ölümleri, önemli bir oranda azaltmaktadır. Kanserli dokuları tespit etmek ve görüntülemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Meme kanserinin elektromanyetik dalga kullanarak tespiti, meme dokusu ve tümör arasındaki elektromanyetik kontrast ve/veya kanserli hücreler tarafından üretilen elektriksel sinyaller aracılığı ile sağlanabilmektedir [5]. Meme dokusunun bu özelliğinden dolayı mikrodalga, meme kanserinin tespit edilmesi ve görüntülenmesinde kendisine yer bulmuştur.

Meme tarama yöntemlerinde hastaların rahatlığı, yüksek çözünürlüklü görüntülerin üretilmesi, maliyet ve kötü huylu kitlelerin doğruluğu gibi durumlar dikkate alınmalıdır [6]. Meme kanseri tespiti için çeşitli teknikler mevcuttur. Meme kanserinin görüntülenmesi konusunda en yaygın kullanılan yöntem, x-ray mamografidir. X-ray mamografi, X ışını kullanarak meme kanserinde tanılamayı sağlamaktadır.

X-ışınları, 0.125 ~ 125 keV (kilo elektron volt) enerji aralığında, dalga boyu 10 ile 0.01 nm aralığında (30 ile 30.000 PHz (Petahertz)) olan elektromanyetik dalgalardır ve iyonize edici radyasyon sınıfına dahil olduklarından dolayı zararlı olabilirler [7]. X-ray mamografide iyonize edici ışın kullanılması, bu yöntemin bir dezavantajıdır. Ayrıca X-ray mamografide, daha iyi görüntüleme yapılabilmesi için memenin sıkıştırılması gerekliliği, hasta için konforsuz ve rahatsız edici bir durum oluşturduğundan, başka bir dezavantaj olarak görülmektedir[5]. X-ray mamografide ölçüm sırasında

sıkıştırılmadan kaynaklanan konforsuzluk ve zararı en aza indirmek için düşük güç kullanımı gerekliliği gibi bazı kısıtlar, meme kanseri tespitinin doğru olarak yapılmasında önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu kısıtlar, alternatif tekniklerin geliştirilmesinde motivasyon olmuştur. Ancak alternatif olarak geliştirilen bu tekniklerin de kendi içlerinde çeşitli sorunlara sahip olması, bu konuda yapılan çalışmaların devamlılığını sağlamaktadır [5]. X-ray mamografiye alternatif bir yöntem, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) yöntemidir. MRG, yüksek hassasiyet sunmaktadır fakat yüksek maliyet ve ters tanıya neden olabilecek düşük belirginliğe sahiptir. Bundan dolayı yüksek risk durumları dışında MRG, meme kanseri tespitinde tercih edilmemektedir. Ayrıca, MRG işleminin uzun sürmesi hastayı rahatsız edebileceği için bir huzursuzluk ve konforsuzluk yaratmaktadır [5].

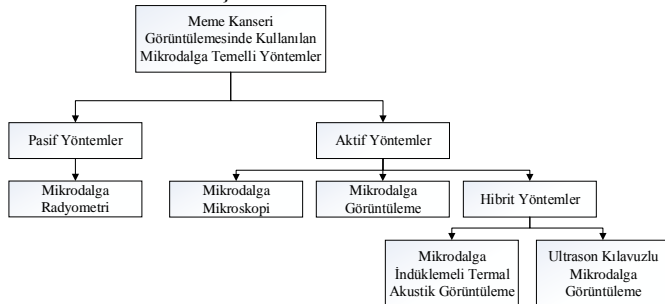
Mikrodalga görüntüleme, en güncel meme kanseri tespit ve görüntüleme tekniklerinden biridir [6, 8 – 10] ve güvenli ve verimli bir meme kanseri tarama metodu olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Literatürde yer alan ve bu konuda yapılan çalışmalar, mikrodalga ile görüntülemenin, meme kanseri tespiti için diğer yöntemlere göre daha ucuz ve daha güvenli bir teknik olduğunu göstermektedir [11].

## 2. Mikrodalga görüntüleme yöntemleri

X - ray mamografi, ultrason ve MRG gibi mevcut tarama ve görüntüleme teknikleri, tüm kadınlar için kilit çözümdür. Bu tekniklerin doğruluğu, meme kanseri tespitinde sadece %73'tür [5]. Buna ek olarak, bu tekniklerin duyarlılık ve özgüllüğü hala sınırlamalara sahiptir. Bu nedenle araştırmacılar, meme kanserinin erken teşhisi için alternatif teknikler bulmak için çalışmalar yürütmektedir.

X-ray mamografinin hala zayıflıkları vardır. Bu zayıflıklar:

1. Her radyolog mamogramları farklı yorumlayabilir.
  2. Mamografinin özgüllüğü düşüktür.
  3. Mamografi tarafından bulunan her lezyonun biyopsi sonucu kötü huylu değildir veya bu oran sadece 20 ile % 35 arasında değişir.
  4. X-ray ışınlarının hücrelerin DNA (deoksiribonükleik asit)'sına zarar verdiği bilinmektedir.
- X-ray mamografiye alternatif olarak görülen ve meme kanserinin tespitinde büyük bir potansiyele sahip olan mikrodalga görüntüleme, meme dokusunun bileşimiyle ilgili dielektrik özelliklerinin fonksiyonel bilgisine dayanmasından dolayı, bu alanda önemli bir yaklaşım sağlamaktadır [5, 12, 13]. Şekil 2'de görüldüğü gibi mikrodalga görüntüleme pasif ve aktif teknikler olmak üzere iki ana bileşene ayrılır. Aşağıdaki bölümlerde mikrodalga temelli görüntüleme teknikleri incelenmiştir.



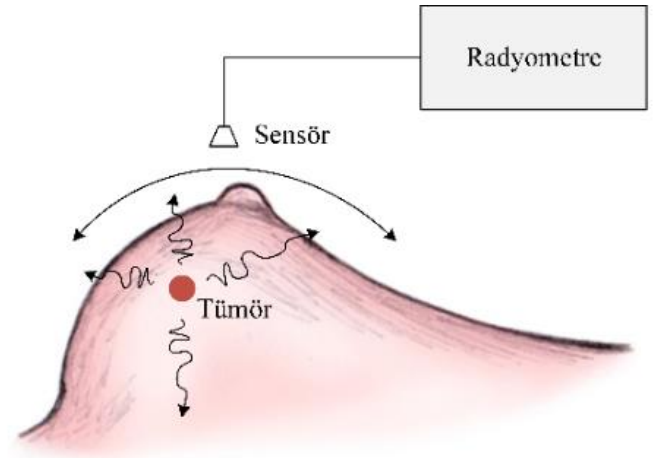
Şekil 2. Meme kanseri görüntülemesinde kullanılan mikrodalga temelli yöntemler

## 2.1. Pasif yöntemler

Pasif mikrodalga radyometresi, normal ve kötü huylu meme dokularının sıcaklıkları arasındaki farkı ölçmeye dayanmaktadır. Kanserli dokuların daha hareketli olması ve daha fazla sıcaklık üretmesinden dolayı meme kanseri görüntüleme yöntemleriyle uğraşan birkaç araştırmacı, kanserli dokuların varlığında sıcaklık farkının olduğunu kanıtlamışlardır [14, 15].

### 2.1.1. Mikrodalga radyometri

Elektromanyetik dalgaları kullanan yöntemlerden biri, mikrodalga radyometridir. Mikrodalga radyometri, belirli sıcaklıktaki biyolojik doku tarafından yayılan ışımanın pasif tespiti olarak tanımlanmaktadır. Çalışma prensibi, radyometrik teknikler ve mikrodalga frekansları kullanılarak elde edilen şüpheli meme alanıyla ona karşılık gelen sağlıklı meme alanlarının termo harita görüntülerinin karşılaştırılması ile meme sıcaklığının ölçülmesini ifade eder [16, 17]. Şekil 3'te pasif mikrodalga görüntüleme sistemi görülmektedir.



Şekil 3. Pasif mikrodalga görüntüleme

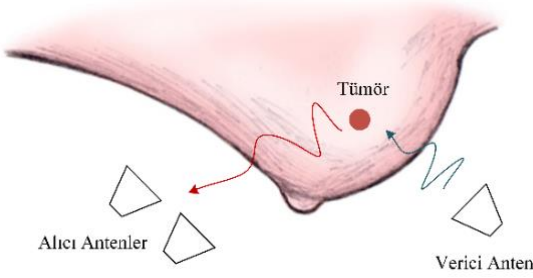
Kötü huylu meme tümörleri, çevresindeki doku ile karşılaştırıldığında, kendi sıcaklıklarını artıran yüksek metabolizma ve kan perfüzyonu (dolaşımı) sergilemektedir. Belirli sıcaklıktaki dokular, infrared frekanslarda tepe ve mikrodalga frekanslarda daha az emisyonla sahip olacak şekilde bütün frekanslarda radyasyon yayar. Mikrodalga radyometride sensör, yayılan radyasyonu tespit edebilecek bir antendir. Bu anten direkt olarak meme üzerine ya da biraz uzağa konumlandırılabilir. Iudicello ve arkadaşları [18], memenin sıkıştırılması durumunda tümörün radyometrik görünürlüğündeki değişimleri çalışmak için birbirine bağlı bir mekanik, termal ve elektromanyetik model geliştirmiştir. Model, 1 cm boyutundaki tümörün, sıkıştırılmamış dokuda maksimum 2.5 cm derinlikte görünebildiğini; %35 oranında bir sıkıştırma durumunda ise derinliğin 3 – 4.5 cm değerlerine çıkabildiğini göstermiştir. Bu yöntemdeki ana sorun, tümörün yaydığı küçük mikrodalga sinyale karşılık sensör ya da antenin düşük hassasiyetidir. Mikrodalga radyometride sinyalin zayıf olmasından dolayı, kablosuz cihazlar gibi harici elektromanyetik girişimler ve cihazın kendisinden dolayı dâhili elektromanyetik girişimler, ölçümlerde hatalara neden olabilmektedir [5].

## 2.2. Aktif yöntemler

Aktif yöntemler, pasif yöntemlerin aksine, mikrodalga sinyalinin gönderilmesi ve dokudan yansıyan dalgaların ölçülmesine dayanarak görüntüleme sağlamaktadır. Aktif görüntüleme yöntemleri, mikrodalga tomografi ve radar temelli görüntüleme olarak iki kategoriye ayrılabilir.

### 2.2.1. Mikrodalga görüntüleme

Tomografik frekans domeni sistemleri, verici tarafından gönderilen sinyallerin, nesnenin farklı konumlarından saçılması ve bu saçılmaların ölçülmesine dayanan ters saçılım tekniklerini temel almaktadır. Bu bilgi kullanılarak vücudun elektromanyetik özellikleri yeniden elde edilebilmektedir. Bu elektromanyetik problemin çözümü, genellikle hesaplanan ve ölçülen veriler arasındaki farkın azaltılmasıyla yapılan optimizasyon prosedürü ile gerçekleştirilmektedir. Tam dalga 3 boyutlu ters saçılım problemini kesin doğrulukta çözmek, yüksek hesaplama maliyetlerine yol açmaktadır. Bu da, böyle sistemlerin ana problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Uygulamada alan ölçümleri alıcı ve verici antenden oluşan bistatik yapılandırma ve mekanik tarama [19 – 23] ya da anten dizisi ve elektronik tarama [24 – 31] ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 4'te mikrodalga tomografi yönteminin çalışması görülmektedir.



Şekil 4. Mikrodalga tomografi yöntemi çalışma şekli

Memeden saçılan alanın ölçülmesinin bir diğer yolu, modülasyonlu saçılma tekniğidir [32 – 34]. Böyle sistemler iki büyük horn antenden oluşmaktadır. Verici anten, incelenen bölgeye ışımaktadır. Saçılan alanın ölçümü, görüntüleme sisteminin toplayıcı açıklığının önünde konumlandırılmış prob dizisi tarafından sağlanmaktadır. Prob dizisi, dipol anten dizisidir [32]. Dizinin her elemanı diyot ile yüklenmiştir. Diyotların modülasyonu sonucunda, toplayıcı açıklığın çıkışında bir sinyal oluşmaktadır.

Zaman domeni teknikleri sıklıkla ultra geniş bant (Ultra Wide Band, UWB) radar teknikleri olarak adlandırılmaktadır. Frekans domeni sistemlere benzer şekilde, monostatik, bistatik ve multistatik olmak üzere üç ana sistem konfigürasyonu mevcuttur. UWB radar tekniklerinin bir avantajı, memedeki güçlü saçılmaları konumlandırmada tam dalga elektromanyetik analiz yerine basit yaklaşımlar kullanabilmesidir. Dağılım, bu teknikte büyük bir sorun oluşturmaktadır [35] ve bu yüzden, basitlik için, tüm meme dokusunun frekans bağımlılığı ya da ışıma diyagramının frekans bağımlılığı göz ardı edilmektedir [36, 37].

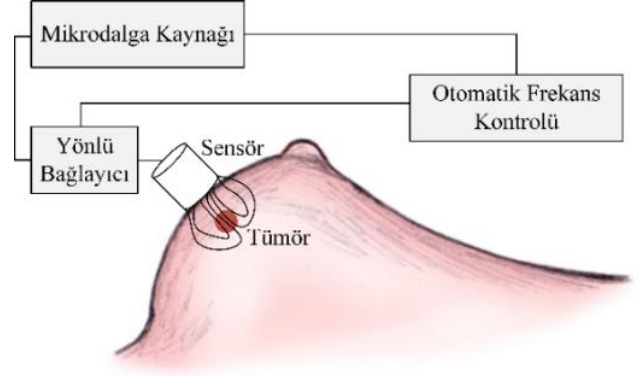
Ölçüm hassasiyeti ve yüksek dinamik aralık, iyi bir görüntü kalitesi elde etmek için temel gereksinimler olduğundan, mevcut bütün UWB radar görüntüleme metotları, sürekli dalga sistemleri kullanan frekans domeni ölçümlerine dayanmaktadır. Zaman domeni gösterimleri, ters Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilmektedir [38 – 45].

Bahsedilen zaman domeni ve frekans domeni tekniklerinin kombinasyonu, yüksek çözünürlüklü görüntülerin düşük hesaplama maliyetleri ile elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kombine yaklaşım, her iki tekniğin de özel dezavantajlarının

üstesinden gelme amacıyla ortaya çıkmıştır ve ölçüm prosedürüne referans olmadan önerilmiştir [46].

### 2.2.2. Mikrodalga mikroskopi

Mikrodalga mikroskopinin prensibi, açık sonlu mikrodalga boşluk rezonatörün elektromanyetik alanı ile deri altında tümör gibi dokuların etkileşiminden kaynaklanan rezonans frekansındaki değişimdir. Bu teknik, yakın alan dalga-doku etkileşimini temel aldığından dolayı yüksek uzamsal çözünürlük sağlamaktadır [35, 47]. Şekil 5'te mikrodalga mikroskopi yönteminin çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 5. Mikrodalga mikroskopi yöntemi çalışma şekli

Meme kanseri tespiti için mikrodalga mikroskopi önemli avantajlar sunmaktadır. Mikrodalga mikroskopi, kompleks ters saçılım algoritmaları ve deri dokusu için özel işlemlere ihtiyaç duymamaktadır. Çok dar frekans aralığında çalıştığı için meme dokusunun karmaşık dağılımlı dielektrik modellerine ihtiyaç duymamaktadır. Tespitin başarılı olmasında tümörün dielektrik özelliklerinin daha önceden bilinmesine gerek yoktur. Erkeklerde meme kanseri tespitinde kullanılabilir.

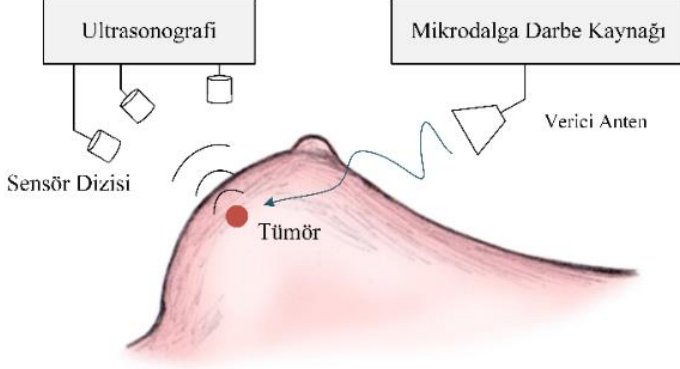
### 2.3. Hibrit yöntemler

Hibrit metotlar genel olarak, önce bilinmeyen saçılımları elde etmek ve sonra onların dielektrik parametrelerinin dağılımlarını oluşturmak için hızlı nitel algoritmalar ile nicel metotların kombine edildiği iki adımlı yöntemleri içerebilmektedir.

Hibrit yöntemlerde öncelikle meme dokusu mikrodalgaya maruz bırakılmaktadır. Yüksek iletkenliklerinden dolayı tümörde fazla enerji depolanmakta, bu enerji, tümörün genişlemesine ve ultrason dönüştürücü ile ölçülebilecek baskı dalgası oluşturmaya neden olmaktadır. Bu oluşan baskı dalgası, ultrason dönüştürücü ile ölçülmektedir.

#### 2.3.1. Mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntüleme

Mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntülemenin temel prensibi, kötü huylu dokunun iletkenliğinin mikrodalga frekanslarında yüksek çözünürlük ve ultrason görüntülemeye yüksek uzamsal çözünürlük avantajlarını bir araya getirmektir. Meme, bir mikrodalga darbe üretici tarafından mikrodalgaya maruz bırakılmaktadır [48]. Şekil 6'da mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntüleme yönteminin çalışma şekli görülmektedir.



**Şekil 6.** Mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntüleme yöntemi çalışma şekli

Birim hacim tarafından soğurulan mikrodalga gücü ( $P_v$ ), hacmin elektriksel iletkenliği ( $\sigma$ ) ile doğru orantılıdır.

$$P_v = \frac{1}{2} \sigma |\vec{E}|^2 \text{ W/m}^3 \quad (1)$$

Burada E vektörü, doku içerisindeki elektrik alanının genişliğidir [48]. Bu soğurma dokunun termoelastik genişlemesini harekete geçirmekte ve memenin dış kısmına yerleştirilmiş bir akustik sensör dizisi ile tespit edilebilecek termo-akustik dalgalar oluşturmaktadır. Ölçülen fazla basınç, mikrodalga darbe genişliğinin ve belli bir pozisyondaki dokunun hacim başına kısmi enerji emiliminin bir fonksiyonudur. Bu şekilde oluşturulan akustik dalgalar, ışıma altındaki dokunun mikrodalga enerji soğurma özellikleri hakkında bilgi taşımaktadır. Verilen denkleme göre, tümör ve normal meme dokuları tarafından soğurulan mikrodalga enerji önemli ölçüde farklı olacaktır ve tümör tarafından güçlü bir akustik dalga üretilmektedir.

Bu tekniğin klinik uygulaması hakkındaki temel endişe, elektromanyetik enerjinin artan seviyesidir. Yöntem için gereken darbenin mikrodalga gücü, ortalama olarak, yukarıda ele alınan diğer mikro dalga görüntüleme sistemleri tarafından kullanılanlardan çok daha yüksektir [49, 50].

Mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntüleme sistemlerinin karşılaştığı ana sorunlardan birisi, meme dokusunun homojen olmamasıdır. Bu durum, uniform olmayan mikrodalga enerji dağılımına, deriden ve göğüs kafesinden girişimlere ve dolayısıyla ile karmaşık görüntü oluşturma algoritmaları gereksinimine yol açmaktadır. Biyolojik dokular mikrodalga kaynağı tarafından uniform olarak ısıtılmalıdır, aksi halde uniform olmayan mikrodalga enerji dağılımından dolayı termal akustik sinyaller oluşacaktır. Bu sinyaller de yorumlaması zor görüntüler elde edilmesine neden olacaktır. Meme dokusu içinde istenmeyen yüksek dereceli elektromanyetik alan modlarının uyarıtımı, ayrıca, uniform olmayan mikrodalga enerji dağılımı oluşturmaktadır. Meme derisi, meme dokusu, göğüs kafesi ve tümör, mikrodalga enerjisini soğurarak, denkleme göre enerjiye dönüştürür ve tümü, termal akustik sinyal üretmektedir. Ölçülen termal akustik dalga formları tümörün yanı sıra diğer sağlıklı meme dokusundan tepkiler içerir. Deri tarafından üretilen termal akustik sinyaller, derinin yüksek iletkenliğinden ve akustik sensörlerin deriye çok yakın olmasından dolayı, küçük tümörler tarafından üretilenlerden çok daha güçlü ölçülebilmektedir.

Bir noktadan üretilen akustik darbenin varış zamanı, ses hızının biyolojik dokularda uniform olmamasından dolayı kesin olarak belirlenmemektedir. Bütün bu etkenler, meme içindeki termal akustik sinyallerin geri oluşturma özelliklerine yaklaşımları zorlaştırmaktadır. Deri tepkisi genellikle radar tekniğine benzer şekilde ortalama alınarak telafi edilmektedir. Yığılma da, radyometride olduğu gibi, dokunun dağıtıcı özellikleri ve çoklu frekans işlemleri kullanılarak azaltılabilmektedir. Çoklu frekans uyarımından toplanan bilgiler, bahsedilen zorlukları hafifletmeye yardımcı olabilmektedir.

### 2.3.2. Ultrason kılavuzlu mikrodalga görüntüleme

Farklı sistemlerden toplanan bilgilerin birleştirilmesiyle yapılan görüntüleme, dokunun fizyolojik ve patolojik şartlarının tam aralığını kapsayacak daha iyi bir tanılama aracı oluşturmaktadır. Ultrason kılavuzlu mikrodalga görüntüleme, mikrodalga görüntü oluşturma ve ultrasonografi kullanılmaktadır. Ultrason görüntüleme, meme yapısı ve gömülü objelerin geometrisi hakkında öncelik bilgisini toplamada kullanılmaktadır [51]. Bu, elektromanyetik problemin etkin sayısal analizi için iyi tanımlanmış hedef bölgesinin optimal mesh üretilmesine yardım etmektedir. Böylece, mikrodalga görüntülemenin uzamsal çözünürlüğü, tümörün daha kesin görüntülenmesini sağlamaktadır.

### 3. Sonuç

Tıbbi sorunların çözümünde mikrodalga teknolojisinin uygulamasındaki gelişmeler, özellikle meme kanseri teşhisi ve tedavisi, çok ilgi çekici hale gelmiştir. Mikrodalga görüntüleme, meme kanseri tespiti için kullanılabilir yeni bir tekniktir. Geleneksel X - ray mamografinin bazı sakıncalarını aşmak için güçlü bir potansiyele sahiptir. Kullanılabilirliğini artırmak için bu tekniği çalışan birçok araştırmacı vardır. Manyetik Rezonans Görüntüleme ve Ultrason Görüntüleme gibi küçük tümörlerin belirlenmesi konusunda gelişmiş ve kaliteli sonuçlar veren başka metotlarda mevcuttur; fakat bunlar daha pahalı, invaziv ve duyarlıdır. Hatta araştırmacılar, mevcut olan görüntüleme yöntemlerinin sınırlamalarının üstesinden gelecek, erken meme kanseri tespiti için kullanılacak, yeni tespit teknikleri üzerinde çalışmaktadır. Meme kanseri görüntülenmesinde kullanılan mikrodalga temelli birçok yöntem bulunmaktadır. Tümörlerin erken aşamalarında çok daha küçük olduğunu ve mikrodalga görüntülemenin küçük tümörlerin tespitinde yüksek potansiyeli olan iyi bir aday olduğunu göstermektedir. Bu potansiyelden yararlanmaya çalışan, aralarında mikrodalga tomografi, mikrodalga mikroskopi, mikrodalga indüklemeli termal akustik görüntüleme ve ultrason kılavuzlu mikrodalga görüntüleme gibi bir takım umut verici stratejiler ortaya çıkmıştır. Her metodun zayıf ve güçlü yönleri vardır, fakat her olası yaklaşımı keşfederek gelişme ve araştırma miktarı gelişmeye devam etmektedir.

### Kaynaklar

1. Meme Kanseri, Wikipedia, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Meme\\_kanseri](http://tr.wikipedia.org/wiki/Meme_kanseri), Feb. 2014.
2. Breast Anatomy Artwork, Wikipedia, <http://fineartamerica.com/featured/8-breast-anatomy-artwork-sciepro.html>, Feb. 2014.

3. Kanser Kayıtçılığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Kanser Daire Başkanlığı, <http://www.kanser.gov.tr/daire-faaliyetleri/kanser-kayitciligi/108-t%C3%BCrkiyede-kanser-kayitcigi.html#sthash.rW1OWNI4.dpuf>, Dec. 2013.
4. Gültekin, M., "Kanser Dairesi Faaliyetleri", 2013.
5. Hassan, A. M., El-Shenawee, M., Review of Electromagnetic Techniques for Breast Cancer Detection, *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 4, 103-118, 2011.
6. Xu, M., Thulasiraman, P., Noghianian, S., Microwave Tomography for Breast Cancer Detection on Cell Broadband Engine Processors, *J. Parallel Distrib. Comput.*, 72, 1106-1116, 2011.
7. X-ray, Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org/wiki/X-ray>, Dec. 2013.
8. Santorelli, A., Popovic, M., SAR Distribution in Microwave Breast Screening: Results with TWTLTLA Wideband Antenna, *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, Adelaide, 11-16, 2011.
9. Lazaro, A., Girbau, D., Villarino, R., Simulated and Experimental Wavelet-based Detection of Breast Tumor using a UWB Radar, 40th European Microwave Conference, Paris, 373-376, 2010.
10. Zhang, D., Mase, A., "Ultrashort-Pulse Radar System for Breast Cancer Detection Experiment: Imaging in Frequency Band", *Microwave Conference Proceedings (CJMw)*, Hangzhou, 1-3, 2011.
11. Delbary, F., Brignone, M., Bozza, G., Aramini, R., Piana, M., A Visualization Method for Breast Cancer Detection by using Microwaves, *SIAM J. Appl. Math.*, 70, 2509-2533, 2010.
12. El-Shenawee, M., Electromagnetic Imaging for Breast Cancer Research, *Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireless)*, Phoenix, 55-58, 2011.
13. Meaney, P., Fanning, M. W., Zhou, T., Golnabi, A., Geimer, S. D., Paulsen, K. D., Clinical Microwave Breast Imaging-2D Results and the Evolution to 3D", *Electromagnetics in Advanced Applications*, Torino, 881-884, 2009.
14. Fear, C., Hagness, S. C., Meaney, P. M., et al., Enhancing Breast Tumor Detection with Near Field Imaging, *IEEE Microwave Magazine*, 3, 48-56, 2002.
15. Zhurbenko, V., Challenges in the Design of Microwave Imaging Systems for Breast Cancer Detection, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 11, 91-96, 2011.
16. Mouty, S., Bocquet, B., Ringot, R., Rocourt, N., Devos, P., Microwave Radiometric Imaging for the Characterization of Breast Tumor, *Eur. Phys.*, 10, 73-78, 2000.
17. Carr, K. L., Cevasco P., Dunlea, P., Shaeffer, J., Radiometric Sensing: An Adjuvant to Mammography to Determine Breast Biopsy, *Microwave Symposium Digest*, Boston, 929-932, 2000.
18. Iudicello, S., Bardati, F., Functional Imaging of Compressed Breast by Microwave Radiometry, *The Applied Computational Electromagnetics Society*, 24, 2009.
19. Semenov, S. Y., Svenson, R.H., Bulyshev, A.E., et al., Three-dimensional Microwave Tomography: Initial Experimental Imaging of Animals, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, 49, 55-63, 2002.
20. Semenov, S. Y., Bulyshev, A.E., et al., Microwave-Tomographic Imaging of the High Dielectric-Contrast Objects using Different Image-Reconstruction Approaches, *IEEE Trans. on Microw. Theor. and Tech.*, 53, 2284-2294, 2005.
21. Bindu, G., et al., Two-dimensional Microwave Tomographic Imaging of Low-Water-Content Tissues, *Microwave and Opt. Tech. Letters*, 46, 599-601, 2005.
22. Bindu, G., Lonappan, A., Thomas, V., Aanandan, C. K., Mathew, K. T., Active Microwave Imaging for Breast Cancer Detection, *Progress in Electromagnetics Research*, 58, 149-169, 2006.
23. Bindu, G., Mathew, K. T., Characterization of Benign and Malignant Breast Tissues using 2-D Microwave Tomographic Imaging, *Microwave and Optical Technology Letters*, 49, 2340-2345, 2007.
24. Rubæk, T., Zhurbenko, V., Prototype of Microwave Imaging System for Breast-Cancer Screening, *ANTEM/URSI, Banff*, 42-46, 2009.
25. Rubæk, T., Zhurbenko, V., Phantom Measurements with a Microwave Imaging System for Breast-Cancer Screening, *EuCAP'09, European Conf. on Ant. and Prop.*, Berlin, 2950-2954, 2009.
26. Semenov, S. Y., et al., Three-dimensional Microwave Tomography: Experimental Prototype of the System and Vector Born Reconstruction Method, *IEEE Trans. on Biomed. Engineering*, 46, 937-946, 1999.
27. Meaney, P. M., Fanning, M. W., Li, D., Poplack, S. P., Paulsen, K. D., A Clinical Prototype for Active Microwave Imaging of the Breast, *IEEE Trans. on Microw. Theory and Tech.*, 48, 1841-1853, 2000.
28. Meaney, P. M., Paulsen, K. D., Hartov, A., Crane, R. K., An Active Microwave Imaging System for Reconstruction of 2-D Electrical Property Distributions, *IEEE Trans. on Biomed. Engineering*, 42, 1017-1026, 1995.
29. Li, D., Meaney, P. M., Paulsen, K.D., Conformal Imaging with a Non-contacting Microwave Antenna Array", *Microwave Symposium Digest*, Phoenix, 563-566, 2001.
30. Li, D., et al., Parallel-Detection Microwave Spectroscopy System for Breast Imaging, *Review of Scientific Instruments*, 75, 2305-2313, 2004.
31. Paulsen, K. D., Meaney, P. M., Gilman, L. C., Alternative Breast Imaging. Four Model-Based Approaches, *Springer Science + Business Media Inc.*, Boston, 2005.
32. Gunnarsson, T., et al., Quantitative Imaging Using a 2.45 GHz Planar Camera, 5th World Congress on Industrial Process Tomography, Bergen, 2007.
33. Pastorino, M., Recent Inversion Procedures for Microwave Imaging in Biomedical, Subsurface Detection and Nondestructive Evaluation Applications, *Measurement*, 36, 257-269, 2004.
34. Bolomey, J. C., Gardiol, F. E., Engineering Applications of the Modulated Scatterer Technique, *Artech House Publishers*, Boston, 2001.
35. Ramahi, O. M., Kermani, M. H., Transmission Line Resonators for Breast Tumor Detection, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 803-806, 2005.
36. Sill, J.M., Williams, T.C., Fear, E.C., Frayne, R., Okoniewski, M., Realistic Breast Models for Second Generation Tissue Sensing Adaptive Radar System, *EuCAP'07, 2nd Europ. Conf. on Ant. and Prop.*, Edinburgh, 1-4, 2007.
37. Kosmas, P., Rappaport, C. M., Time Reversal with the FDTD Method for Microwave Breast Cancer Detection, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, 53, 2317-2323, 2005.
38. Nilavalan, R., Craddock, I. J., Preece, A., Leendertz, J., Benjamin, R., Breast Cancer Tumour Detection Using Microwave Radar Techniques, *URSI'04, Int. Symp. on Electromagnetic Theory*, 117-119, 2004.

39. Craddock, J., Klemm, M., Preece, A., Leendertz, J., Benjamin, R., Evaluation of a Hemi-spherical Wideband Antenna Array for Breast Cancer Imaging, Electromagnetic Theory Symposium, Ottawa, 2007.
40. Jean, B. R., Trumbo, M. L., Marks, R. J., A New Modality for Microwave Tomographic Imaging: Transit Time Tomography, International Journal of Tomography & Simulation, 11, 2009.
41. Khor, W. C., Bialkowski, M. E., Abbosh, A., Seman, N., Crozier, S., An Ultra-Wideband Microwave Imaging System for Breast Cancer Detection, IEICE Trans. Commun., E90, 2376–2381, 2007.
42. Wang, H., Bialkowski, M. E., Liu, F., Crozier, S., “FDTD Investigations into UWB Radar Technique of Breast Tumor Detection and Location”, Auswireless’06, 2006.
43. Li, X., Hagness, S. C., Van Veen, B. D., van der Weide, D., Experimental Investigation of Microwave Imaging via Space-time Beamforming for Breast Cancer Detection, IEEE Microwave Symposium Digest, Philadelphia, 379-382, 2003.
44. Li, X., Davis, S. K., Hagness, S. C., van der Weide, D. W., Van Veen, B. D., Microwave Imaging via Space-Time Beamforming: Experimental Investigation of Tumor Detection in Multilayer Breast Phantoms, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 52, 1856–1865, 2004.
45. Miyakawa, M., Ikarashi, H., Ishii, N., Bertero, M., Visualization of the Breast Tumor by the Integrated use of CP-MCT and Chirp Pulse Microwave Breast Radar”, Microwave Conference, 1043–1046, 2005.
46. Sabouni, A., Flores-Tapia, D., Noghianian, S., Thomas, G., Pistorius, S., Hybrid Microwave Tomography Technique for Breast Cancer Imaging, Engineering in Medicine and Biology Society, New York, 4273–4276, 2006.
47. Wu, X., Romahi, O. M., Near-field Scanning Microwave Microscopy for Detection of Subsurface Biological Anomalies, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2444-2447, 2004.
48. Guo, B., et al., Multifrequency Microwave Induced Thermal Acoustic Imaging for Breast Cancer Detection, IEEE Trans. on Biom. Engineering, 54, 2000–2010, 2007.
49. Kruger, R.A., et al., Thermoacoustic CT, IEEE Microwave Symposium Digest, Boston, 933-936, 2000.
50. Ku, G., Wanga, L. V., Scanning Microwave Induced Thermoacoustic Tomography: Signal, Resolution, and Contrast, Medical Physics, 28, 4–10, 2001.
51. Jiang, H., Li, C., Pearlstone, D., Fajardo, L. L., Ultrasound-guided Microwave Imaging of Breast Cancer: Tissue Phantom and Pilot Clinical Experiments, Medical Physics, 32, 2528-2535, 2005.