



Şekil 2. En içten en dışa doğru katmanlar; tümör, fibroglandular, yağ tabakası (adipose) ve deri (skin). Bir anten, yayılımı yapan anten ve diğerleri de alicılardır [13].

Elektromanyetik alan bileşenleri Maxwell'in denklemlerini sağlar ve her meme katmanındaki radyasyon şartı kompleks dielektrik özellikler ile tanımlanır [13]. Meme tarafından saçılan alanlar bu geometrinin fonksiyonlarıdır. Bu elektromanyetik alanları elde etmek için sonlu elemanlar ileri çözümü olarak COMSOL Multifizik kullanılmıştır.

Çoklu-frekans inversyon probleminde, frekansa göre meme dokularının dielektrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, oluşturulan modele birinci dereceden veya ikinci dereceden Debye formülasyonu geniş bir şekilde uygulanmış [14] ve bu model ölçülen verinin denklem katsayılarına adapte edilmiştir. Birinci-dereceden Debye modeli aşağıdaki gibidir:

$$\epsilon_{rc}(\omega) = \epsilon_r(\omega) + i \frac{\sigma(\omega)}{\omega \epsilon_0} = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 - i\omega\tau} + i \frac{\sigma_s}{\omega \epsilon_0} \quad (1)$$

ϵ_{rc} bağıl kompleks dielektrik sabiti, ω açısal frekans, ϵ_r bağıl dielektrik sabiti, σ iletkenlik, ϵ_0 boş-uzay dielektrik sabiti, ϵ_∞ sonsuz frekansta bağıl dielektrik sabiti, τ zaman sabiti (relaxation

time constant) ve σ_s statik iletkenliktir. Burada, bağıl dielektrik ve iletkenlik aşağıdaki gibidir:

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (2)$$

$$\sigma(\omega) = \omega^2 \tau \epsilon_0 \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2} + \sigma_s \quad (3)$$

Meme katmanlarının ve tümörün birinci-dereceden Debye formülasyonu için karakteristik parametreleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Birinci-dereceden Debye parametreleri [13]

Parametreler	ϵ_∞	ϵ_s	σ_s
Deri (Skin)	15,3	40,1	0,4
Yağ Tabakası (Adipose)	3,18	5,02	0,043
Fibroglandular	16,8	36,7	0,461
Tümör (Tumor)	18,8	46,8	0,803

Şekil 2'de gösterilen meme katmanlarının geometrisi MATLAB'da uygulanmış ve COMSOL Multifizik programına aktarılmıştır. Bağıl dielektrik ve iletkenlik fonksiyonları (2) ve (3) nolu eşitliklerde olduğu gibi COMSOL'da analitik olarak tanımlanmışlardır. Sonuç olarak; MATLAB'da yazılan FDFD kodunun sonuçları ile COMSOL'da üretilen sonuçlar karşılaştırılmış ve nümerik sonuçlar elde edilmiştir.

Meme kanseri tedavisi için örnek bir meme oluşturarak bunun dielektrik özelliklerinin ölçümlü ilgili bir çalışma yapılmıştır [15]. Birçok örnek modeller tümörün ve normal dokunun belirgin tanımlarını içermezler. Bu çalışma meme kanseri tedavisinde hipertermi için Şekil 3'de gösterilen somut bir meme-tümör örneği önermiştir. Bu somut meme ve tümör örneklerinin nasıl yapıldığıyla ilgili ayrıntılı bilgi ilgili çalışmada anlatılmıştır [15]. Ölçümler dielektrik spektroskopisi metodu kullanılarak elde edilmiştir [10]. Dielektrik sabiti ve elektriksel iletkenlik ölçümleri, E5071B ENA Series Network Analyzer ve 85070 Dielectric Probe Kit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dielectric Kit