



# SAR ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILMAK ÜZERE DİPOL ANTEN YAPIMI VE KARAKTERİZASYONU

## CONSTRUCTION AND CHARACTERIZATION OF DIPOLE ANTENNA TO BE USED IN SAR MEASUREMENTS

Aliye KARTAL DOĞAN<sup>1\*</sup>, Murat CELEP<sup>1</sup>, Sefa OGAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.  
aliye.dogan@tubitak.gov.tr, murat.celep@tubitak.gov.tr, sefa.ogan@tubitak.gov.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.04.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 21.06.2014  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.32767  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Mobil telefonların Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate) değerinin belirlenmesi için yapılan ölçümler öncesinde ölçüm düzeneğinin doğrulanması gerekir. SAR ölçümlerinde kullanılan robotun, elektrik alan probunun, eşdeğer doku sıvısının ve ölçme programının bir arada doğru olarak çalıştığını kontrol etmek için doğrulama çalışması yapılır. Doğrulama ölçümlerinde, kutu fantomun alt kısmına referans bir dipol anten yerleştirilir. Böylece eşdeğer sıvı üzerine değeri bilinen bir güç uygulanarak sıvı içerisinde elektrik alan oluşması sağlanır. Bu çalışmada doğrulama ölçümlerinin önemli bileşenlerinden biri olan dipol anten yapımı, karakterizasyonu ve doğrulama ölçümlerinden bahsedilecektir.

**Anahtar kelimeler:** SAR, Özgül soğurma oranı, Dipol anten, Fantom, Doğrulama.

### Abstract

Verification of Specific Absorption Rate measurement system is necessary before determining the Specific Absorption Rate value of mobile phones. The Specific Absorption Rate measurement system, including the electric field probe, the tissue equivalent liquid and robot used for positioning the probe and also the special software, should be validated in order to check whether it works correctly or not at the test frequency. A flat phantom and a reference dipole antenna are used for the system verification. The reference dipole antenna is placed at the bottom of the flat phantom. So, electric field is formed inside the liquid by applying a known power is delivered to dipole antenna to the tissue equivalent liquid. In this study, the construction, characterization and validation measurements of reference dipole antenna which is one of the important components of validation measurements will be discussed.

**Keywords:** SAR, Specific absorption rate, Dipole antenna, Phantom, Verification.

## 1 Giriş

Elimizden hiç düşürmediğimiz, vazgeçilmez eşyalarımızdan biri olan mobil telefonlar elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla iletişim kurmamızı sağlar. Bu telefonların kullanımı esnasında sağlığımıza olan olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlardaki en temel bileşen ise özgül soğurma oranıdır (Specific Absorption Rate, SAR). SAR olarak gösterilen özgül soğurma oranı, birim kütle başına soğurulan elektromanyetik gücü ifade etmektedir ve Eşitlik (1)'de verilen bağıntıyla hesaplanmaktadır [1],[2].

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (1)$$

Burada,  $\sigma$  elektriksel iletkenlik (S/m),  $|E|$  elektrik alan şiddeti (V/m) ve  $\rho$  dokunun yoğunluğudur (kg/m<sup>3</sup>).

SAR ölçümlerinin sınır değerleri, Amerika Birleşik Devletleri için IEEE C95.1 standardı ile belirlenmiştir [3]. Avrupa ve diğer birçok ülke ise Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyon Komitesi (INIRC) tarafından belirlenen sınır değerlerini benimsemektedirler [4]. SAR ölçümlerinin hangi kriterlere göre yapılacağını anlatan ve sınır değerlerini tarif eden uluslararası IEEE Standardı 1528 [1] ile IEC 62209-1 standartları [2] vardır.

Mobil telefonların SAR ölçümlerini gerçekleştirmek için Şekil 1'de fotoğrafı verilen veya buna benzer ölçüm düzeneğinin kurulması gerekir. Ölçüm düzeneği, ortalama bir insan kafasının fiziksel özelliklerine sahip olan fantom, elektrik alan ölçmeye yarayan izotropik prob, SAM fantom içerisinde probun hareketini sağlayan bir robot, baz istasyonu simülatörü ve ölçme programından oluşmaktadır.



Şekil 1: SAR ölçme düzeneği.

Kurulan düzenek ile SAR ölçümü gerçekleştirmeden önce sistemin doğrulama ölçümlerinin yapılması gerekir. Doğrulama ölçümleri ile elektrik alan probu, robot, program, anten ve diğer bütün bileşenlerin yani sistemin birbiri ile uyumlu olarak çalışıp çalışmadığı ve varsa hatalar tespit edilir.

Ayrıca doğrulama işlemi, ölçme sisteminde herhangi bir değişiklik yapıldığında tekrar edilir.

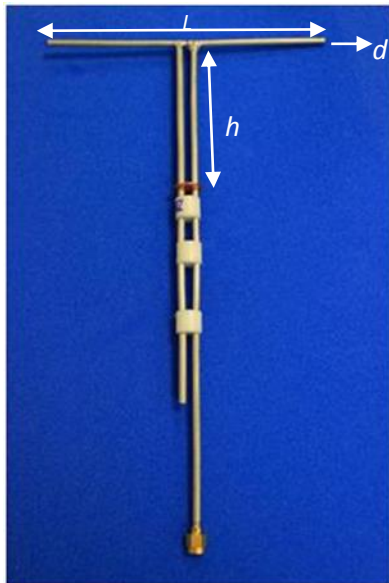
SAR sisteminin doğrulamasında, elektromanyetik işaret sistem üzerine uygulanır. Değeri bilinen elektromanyetik işaretin sistem içerisinde yer alan elektrik alan probu üzerinde oluşturduğu gerilim değeri ölçülür. Bu değerden ve sistemin diğer bileşenleri kullanılarak SAR değeri hesaplanır. Ölçümlerden elde edilen SAR değerinin hesaplanan gerçek SAR değeri ile kıyaslanabilmesi için elektrik alan probu üzerinde olması gereken gerçek gerilim değeri de hesaplanmalıdır. Hesaplamaların doğru bir şekilde yapılabilmesi için, kaynaktan üretilen elektromanyetik işaret elektromanyetik dalgaya doğru dönüştürmek gerekmektedir. Bu işlem için dipol anten kullanılmaktadır [5]-[7]. Dipol antene verilen işaretin gerçekten ne kadarının ortama aktarıldığını gösteren önemli parametrelerden bir tanesi yansıma kaybıdır. Bir dipol antenin yansıma kaybı ne kadar büyük ise ortama aktardığı işaret o kadar fazladır [8]. Uluslararası standartlara uygun bir SAR doğrulama ölçümü gerçekleştirebilmek için dipol antenin sahip olması gereken en küçük yansıma kaybı 20 dB olmalıdır [1],[2].

Bu çalışmada, doğrulama ölçümlerinde kullanılacak ve standartların gereklerini sağlayan referans bir dipol antenin yapımı, yansıma kaybı ölçümü ve SAR doğrulama ölçümlerinde kullanımından bahsedilecektir.

## 2 Referans Dipol Anten Yapımı

Anten çift yönlü dönüştürme işlemi yapan cihaz olup, verici olarak kullanıldığında anten girişindeki işareti elektromanyetik dalgalara ve alıcı olarak kullanıldığında ise tam tersi dönüşümü gerçekleştirir. Çok sayıda anten türü vardır. Bunlardan biri olan dipol antenler, her bir kolunun uzunluğu, işaretin dalga boyunun yarısına ( $\lambda/2$ ) eşit iki kutuplu bir antendir [5].

SAR sisteminin kontrolü ve doğrulaması testinde ilgili standartlarda kullanımı önerilen referans dipol antenler 300 MHz ile 3000 MHz frekans aralığında çalışmakta olup, yüksek doğruluğa sahiptirler. Doğrulama ölçümlerinde kullanılacak referans dipol anten Şekil 2'de verilmiştir.



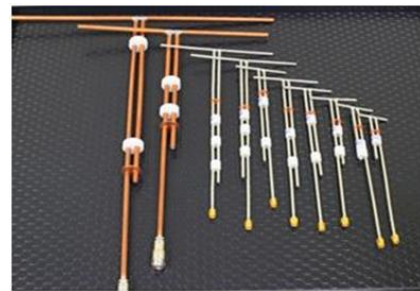
Şekil 2: Dipol anten.

Yarım dalga dipol antenin kol uzunluğu ( $L$ ), duran dalga oranı yarı için yerleştirilen bakır bileğinin yüksekliği ( $h$ ) ve çap ( $d$ ) değerleri dipol antenin kullanıldığı frekansa göre değişiklik göstermektedir. Referans dipol anten sadece tek bir frekans için tanımlanmıştır. Frekansa bağlı bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda verilen referans dipol anten özellikleri incelendiğinde dipol anten yapımı esnasında 300 MHz ve 450 MHz için farklı, 835 MHz ile 3000 MHz arasındaki antenler için farklı çapa sahip kabloların kullanıldığı görülmektedir. İstenilen frekansa uygun kablolar Tablo 1'de verilen ölçülere uygun olarak ayarlanmış ve bağlantıları yapılmıştır. Kablonun bir tarafına SMA konektör takılmıştır. Diğer uç ise kesilen diğer parçalara birleştirilmiştir. Bir plastik tutucu ile dipol sabitlemiştir. Yapılan antenin duran dalga oranı (standing wave ratio, SWR) ayarını yapmak için bakır bir bilezik kullanılmıştır.

Tablo 1. Referans dipolün mekanik özellikleri [1].

Nominal Frekans (MHz)	$L$ (mm)	$h$ (mm)	$d$ (mm)
300	396	250.0	6.35
450	270	166.7	6.35
835	161	89.8	3.6
900	149	83.3	3.6
1450	89.1	51.7	3.6
1800	72.0	41.7	3.6
1900	68.0	39.5	3.6
2000	64.5	37.5	3.6
2450	51.5	30.4	3.6
3000	41.5	25.0	3.6

Şekil 2 ve Tablo 1'de verilen özelliklere uygun olarak 300 MHz ile 3000 MHz arasında dipol antenlerin yapımı gerçekleştirilmiştir. Yapımı gerçekleştirilen dipol antenlerin görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

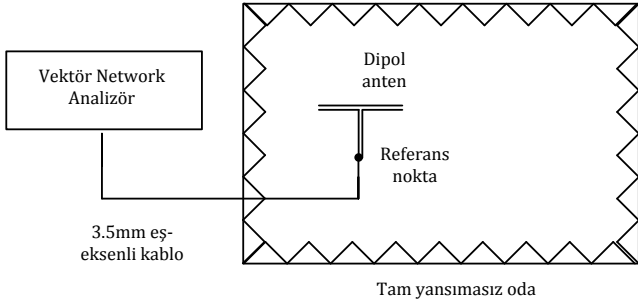


Şekil 3: Yapımı gerçekleştirilen dipol antenler.

## 3 Referans Dipol Antenin Yansıma Kaybı Ölçümü

Yapımı gerçekleştirilen referans dipol antenlerin girişine uygulanan işaretin ne kadarının antenden aktarıldığını belirlemek için antenin yansıma kaybı ölçülmüştür. Yansıma kaybı anten girişinde yer alan SMA konektöründen yansıyan işaretin bu konektöre uygulanan işarete oranı olarak tanımlanmaktadır. Yansıma kaybını ölçmek için Agilent E8362B model bir Vektör Network Analizör (VNA) kullanılmış ve ölçme düzeneği Şekil 4'te verilmiştir. Referans dipol antenin ölçümü tam yansısız bir odada gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm gerçekleştirilmeden önce, dipol antenin SMA konnektör bağlantısının gerçekleştirildiği ve VNA tarafında yer alan hatalar giderilmiştir. VNA tarafındaki bu hatalar, 3.5 mm bir kalibrasyon kiti kullanılarak tek kapı kalibrasyon yöntemi ile açık devre, kısa devre ve uyumlu yük (open, short, load) standartları kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra hata parametreleri belirlenen VNA ve tam yansız oda içerisinde olan ve VNA'ya bağlı kablunun diğer ucundaki konnektör referans nokta alınmış ve her bir referans dipol anten bu noktaya bağlanarak yansız kaybı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4: Yansız kaybı ölçme düzeneği.

Bu sistem ile ölçümler tam yansız oda içerisinde hava ortamında alınmış olup, oda içerisinde oluşan yansımalar ihmal edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dipol antenlerin tam yansız oda içerisinde yapılan yansız kaybı ölçüm sonuçları.

Nominal Frekans (MHz)	Ölçülen Frekans (MHz)	Yansız Kaybı (dB)
300	346.4	13.36
450	501.1	12.08
835	839.4	12.87
900	884.8	10.57
1450	1462.3	11.82
1800	1812.9	11.34
1900	1928.4	11.63
2000	2051.2	10.52
2450	2540.9	11.16
3000	3108.1	13.78

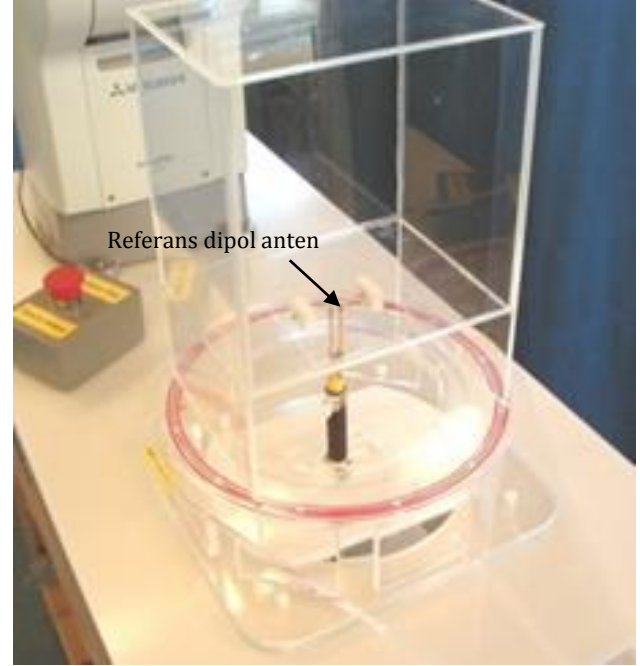
Referans dipol antenlerin performansına karar vermek için, Indexsar marka ve farklı frekanslarda çalışan üç adet antenin tam yansız oda içerisinde aynı şartlarda yansız kaybı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen yansız kaybı değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Indexsar dipol antenlerin yansız kaybı ölçüm sonuçları.

Nominal Frekans (MHz)	Ölçülen Frekans (MHz)	Yansız Kaybı (dB)
900	901.3	12.46
1850	1845.9	11.33
2450	2580.1	10.20

#### 4 Dipol Antenin SAR Doğrulama Sistemi ile Yapılan Yansız Kaybı Ölçümü

Üretilen 900 MHz dipol antenin, SAR ölçüm sisteminin kontrolü ve doğrulamasındaki performansını belirlemek için Şekil 5'de verilen düzenek kurulmuştur. Bu düzenekte, SAR ölçümünde kullanılan kafa fantom yerine 2 mm et kalınlığına sahip kutu fantom kullanılmıştır.

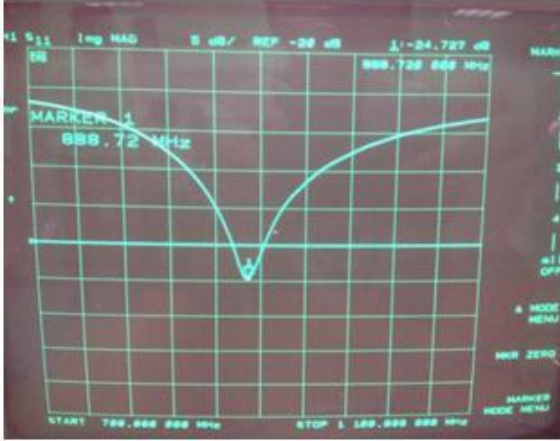


Şekil 5: Kutu fantom ve dipol antenin yerleşimi.

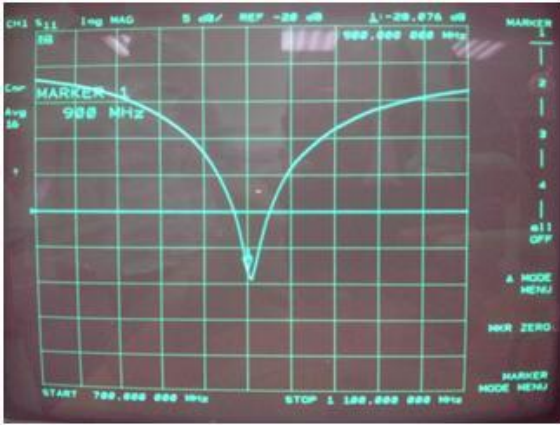
Kutu fantom içerisine 900 MHz frekansta çalışmaya uygun, iletkenliği nominal değeri 0.97 S/m ve bağlı geçirgenliği 41.5 olan 5 L eşdeğer doku sıvısı ile doldurulmuştur. Hazırlanan eşdeğer doku sıvısı %0.10 bakterisit, %1.00 Hydroxyethylcellulose (HEC), %1.48 NaCl, %56.50 şeker ve %40.92 su karışımından oluşmaktadır [9]. Hazırlanan karışımın, (22±2) °C'deki bağlı dielektrik katsayısı ve iletkenliği VNA ve TEM hücresi kullanılarak ölçülmüş ve ölçümler sırasıyla 40.2 ve 0.952 S/m olarak elde edilmiştir. Referans dipol anten ise kutu fantomun altına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5'te görülen dipol antenin alt kısmından yaklaşık 3 m uzunluğundaki SMA konnektöre sahip eş eksenli kablo ile HP 8753B VNA'ya bağlantısı yapılmıştır. Bu VNA'nın artık parametreleri 3.5 mm konektöre sahip bir kalibrasyon kiti ile düzeltilmiştir.

900 MHz frekans için üretilen dipol antenin ve Indexsar marka dipol antenin yansız kaybı ölçümleri; Şekil 5'te verilen düzenek ve VNA kullanılarak yapılmış olup, elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Üretilen ve Indexsar marka dipol antenlerin 900 MHz frekansında SAR doğrulama sistemi ile yapılan yansız kaybı ölçümleri sırasıyla 24.73 dB ve 28.08 dB elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen değerler arasındaki fark, ölçümlerin farklı ortamlarda gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6: Üretilen dipol antenin 900 MHz frekansında kutu fantomlu düzenekteki yansıma kaybı ölçümü.



Şekil 7: Indexsar marka dipol antenin 900 MHz frekansında kutu fantomlu düzenekteki yansıma kaybı ölçümü.

## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, 300 MHz ile 3000 MHz frekansları arasında çalışan 10 adet dipol antenin yapımı gerçekleştirilmiştir. Üretilen antenlerin hava ortamında tam yansız odada yansıma kayıpları ölçülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları her iki antenin birbiri ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu uyum 2 dB'den daha iyidir.

900 MHz frekansa sahip dipol antenin, SAR ölçüm sistemi doğrulama düzenğinde yansıma kaybı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümde, üretilen dipol antenin yansıma kaybı 24.73 dB olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu

değer, üretilen dipol antenin SAR ölçüm sisteminde referans olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda, diğer dipol antenlerin ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için ilgili frekanslara uygun dokuya eşdeğer sıvı ve sistem hazırlanacaktır.

## 6 Kaynaklar

- [1] The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). "IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head From Wireless Communication Devices: Measurement Techniques". IEEE Standard, 1528a, 2005.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC). "Human Exposure to Radio Frequency Fields From Hand-Held and Body-Mounted Wireless Communication Devices-Human Models, Instrumentation, and Procedures-Part 1: Procedure to Determine the Specific Absorption Rate (SAR) for Hand-Held Devices Used in Close Proximity to the ear (Frequency Range of 300 MHz to 3 GHz)", IEC Standard, 62209-1, 2005.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)". *Healthy Physics Society*, 74(4), 494-522, 1998.
- [4] The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz". IEEE Standard, C95.1, 2005.
- [5] Balanis CA. *Antenna Theory Analysis and Design*. New York, USA, Wiley Interscience, 1997.
- [6] Sevgi L. *Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik*. Birinci baskı. İstanbul, Türkiye, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayın Dizisi, 2000.
- [7] Sevgi L, *Tasarımdan Üretime Elektromanyetik Uyumluluk*. 1. Baskı, İstanbul, Türkiye, Eksen Teknik Yayınlar Dizisi, 2006.
- [8] Chauloux A, Colombel F, Himdi M, Lasserre JL, Pouliguen P. "Low-Return-Loss Printed log-Periodic Dipole Antenna". *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 13, 503-506, 2014.
- [9] Celep M, Karacadağ H, Hamid R, Çetintaş M. "Mobil Telefonların Özgül Soğurma Oranının (SAR) Belirlenmesi". *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu 2011 (EMANET 2011)*, İstanbul, Türkiye, 7-8 Ekim 2011.