

2000 - 2012 Yılları arasında Türkiye Geneline Yapılmış Elektromanyetik Kirlilik Ölçümleri ve Analizleri

Hakan Karacadağ*, Mustafa Çetintaş
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü
P.K. 51, 41470, Gebze Kocaeli
hakan.karacadag@ume.tubitak.gov.tr

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü
Barış Mah. Dr.Zeki Acar Cad. No:1
41470 Gebze / KOCAELİ

hakan.karacadag@ume.tubitak.gov.tr, mustafa.cetintas@ume.tubitak.gov.tr

Özet: Bu çalışma, Türkiye geneline 2000 – 2012 yılları arasında GSM baz istasyonları, elektrik iletim hatları ve yüksek güç elektrik dağıtım trafoları kapsamında yapılan elektromanyetik kirlilik ölçümlerini içermektedir. Ölçümlerde söz konusu kaynaklardan istemli veya istemsiz olarak yayımlanan elektromanyetik dalga elektrik ve/veya manyetik alan şiddetlerinin frekans aralığına bağlı olarak yakın ve uzak alan şartlarındaki ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde, ölçümün şartlarına bağlı olarak yünden bağımsız (izotropik) antenler ve yönlü anten-frekans analizör sistemleri kullanılmıştır. Ülke genelindeki yaklaşık 2000 adet ölçümün sonuçları derlenerek istatistiksel analizleri yapılmış, tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Ölçümlerin sonuçları, maruziyet sınır değerlerini esas alan BTK yönetmeliği, IRPA/INIRC ve ICNIRP (300 GHz'e kadar) rehber dokümanlarında belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

Teknoloji ve iletişimin gelişimiyle DC ve X-ışınları spektral aralığında çeşitli elektromanyetik dalga kaynakları geliştirilerek kullanılmakta ve insan sağlığını ve elektronik cihazları ise olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Elektromanyetik dalgaların zararlı etkileri göz önüne alınarak teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde elektromanyetik dalgaların gerek kontrollü gerekse kontrolsüz ortamlar için insan sağlığını etkileyen sınır değerlerini içeren standartlar oluşturulmuş ve uygulanmaktadır. Etkileşim sınır değerleri, bu elektromanyetik dalgaların; genliğine, frekansına ve etkileşim süresine bağlıdır. Bunların yanı sıra elektrik-elektronik cihazların da elektromanyetik kirlilikten etkilenmesiyle ilgili olarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartları ve test ortamları da oluşturulmuştur.

Teknolojik olarak gelişmekte olan ülkemizde de DC - X-ışınları spektral aralığında çeşitli elektromanyetik dalga kaynakları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Böylece elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve özellikle sayıları artan baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik kirlilik seviyesi yükselmektedir. Sonuç olarak da elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri kamuoyunun duyarlılığını arttırmıştır.

Bu bildiride; özellikle GSM baz istasyonlarından ve elektrik iletim hatlarından yayılan elektromanyetik ışınlamaların ölçülerek, ölçüm sonuçlarının, gerek uluslararası gerekse ulusal temelli standartlar kapsamında insan sağlığına olumsuz etki edebilecek sınır değerleriyle yapılan karşılaştırmalar sunulmaktadır. Ölçümler ölçüm noktasındaki kirliliğe neden olan kaynak ayrışımına bakılmaksızın toplam elektromanyetik ışınlamaların tespiti veya doğrudan kaynağının da tespitine yönelik olarak yapılmıştır. Ortamdaki toplam elektromanyetik kirlilik ölçümlerinde yünden bağımsız izotropik antenler veya kirliliğin kaynağını da tespit etmek amacıyla yönsel kazançlı anten-spektrum analizör ölçüm sistemleri kullanılmıştır.

Elde edilen ölçüm sonuçlarının insan sağlığına zararlı olabilecek sınır değerleriyle karşılaştırılması, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu açısından kullanılan ekipmanların kalibreli olması ve GSM baz istasyonlarından yayılan genlik dalgalanmalarının etkisinden dolayı yapılan ölçümlerde tekrarlanabilirlik ve izlenebilirlik büyük bir önem arz ettiğinden bu önemli kriterler dikkate alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir [1-3].

2. İzotropik Problar ve Yönlü Antenler Kullanılarak Elektromanyetik Kirlilik Ölçümleri, Analizi ve Maruziyet Limitleri Kullanılarak Etkilerinin Değerlendirilmesi

Elektromanyetik kirlilik ölçümleri, ICNIRP Guidelines [4], IRPA/INIRC Guidelines [5] ve Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun Yönetmelikleri [6] referans alınarak, 5 Hz - 1 GHz frekans aralığında izotropik problemlerle (manyetik alan), 5 Hz - 40 GHz frekans aralığında izotropik problemlerle (elektrik alan), 30 MHz - 40 GHz frekans aralığında yönlü antenlerle (elektrik alan) ve 10 kHz - 30 MHz frekans aralığında yönlü antenlerle (manyetik alan) gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 6 dakikalık ortalama ölçüm süresince yapılmıştır.

Elektrik iletim hatları ve trafolarla yönelik ölçümler, 5 Hz - 32 kHz frekans aralığını kapsayan EM alan analizörü (Wandel & Goltermann EFA-300 BN 2245), E-alan sensörü (Wandel & Goltermann BN 2245/90.31) ve manyetik alan probu 100cm² (Wandel & Goltermann BN 2245/90.10) ile gerçekleştirilmiştir.

GSM baz istasyonlarına yönelik ölçümler ise iki metotla yapılmıştır. İlk metotta izotropik problemler kullanılmıştır. Bu tip ölçümler, 100 kHz - 6 GHz frekans aralığını kapsayan geniş bantlı alan ölçer cihazı (Narda NBM-550) ve E alan probu (Narda EF 0691) ile gerçekleştirilmiştir. İkinci metotta ise yönlü antenler kullanılmıştır. Bu ölçümler, 800 MHz - 6 GHz frekans aralığını kapsayan EMI test alıcısı (Rohde & Schwarz ESIB 40 1088.7490.40) ve horn anten (A.R.A. DRG 118/A) ile gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, ölçüm noktasının baz istasyonuna ait antenlerin mümkünse karşısında veya antenlerin 3 dB huzme genişliği içerisinde ve uzak alan koşullarını sağlayacak şekilde olmasıdır. Yönlü anten ile yatay ve düşey polarizasyonlarda ve x, y, z, -x, -y ve -z kartezyen koordinatlarında olmak üzere 12 adet ölçüm gerçekleştirilir ve bu ölçümlerin bileşke alanı bulunur. Toplam elektrik alan şiddet değerinin hesaplanması Denklem 1 ve Denklem 2'de verilmiştir.

$$E_T = \sqrt{(E_{x+}^2 + E_{x-}^2 + E_{y+}^2 + E_{y-}^2 + E_{z+}^2 + E_{z-}^2)} \quad \text{V/m} \quad (1)$$

$$E_{x+} = \sqrt{(E_{x+(yatay)}^2 + E_{x+(düşey)}^2)} \quad \text{V/m} \quad (2)$$

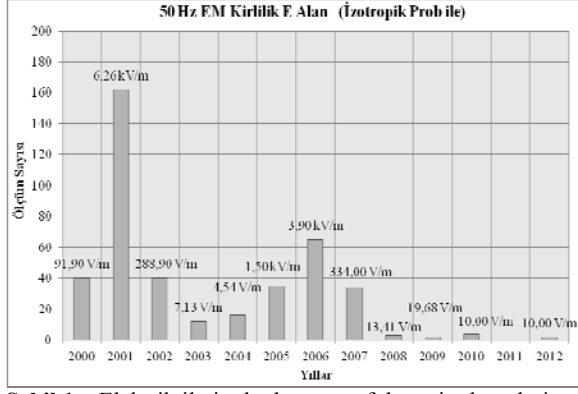
Elektrik/elektronik cihazlara ve vericilere yönelik ve kaynağın tespitine yönelik ölçümler, elektrik alan ve manyetik alan ölçümü olarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elektrik alan ölçümlerinde, 30 MHz - 40 GHz frekans aralığını kapsayan EMI test alıcısı (Rohde & Schwarz ESIB 40 1088.7490.40), bikonikal anten (EMCO 3110B), log periyodik anten (EMCO 3147) ve horn antenler (A.R.A. DRG 118/A ve A.R.A. DRG 1840/A) kullanılmıştır. Manyetik alan ölçümlerinde ise, 10 kHz - 30 MHz frekans aralığını kapsayan EMI test alıcısı (Rohde & Schwarz ESIB 40 1088.7490.40) ve pasif halka anten (ETS-LINDGREN 6512) kullanılmıştır. Bu ölçümler sonucu alan şiddeti hesaplanması Denklem 3 ve Denklem 4'te verilmiştir [7]. Ayrıca bazı ölçümler, 9 kHz - 30 MHz frekans aralığını kapsayan elektrik ve manyetik alan analizörü, H alan probu (Narda HF 0191) ve E alan probu (Narda EF 6091) cihazlarının kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$E = V + AF + KK \quad (\text{V/m}) \quad (3)$$

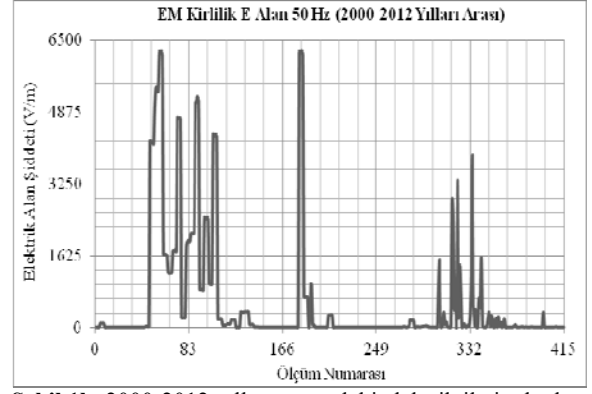
$$B = V + AF + KK \quad (\text{T}) \quad (4)$$

burada E ölçülen elektrik alan şiddet değerini, B ölçülen manyetik alan şiddet değerini, V spektrum analizörde okunan genlik değeri (dBμV), AF alıcı antene ait anten faktörü değerini (dB/m veya dBpT/μV) ve KK'da alıcı anten ile EMI test alıcısı arasındaki koaksiyel kabloya ait kablo kaybı faktör değerlerini (dB) göstermektedir. Çıkan sonuç logaritmik bir ifade olup kullanım esnasında doğrusal hale dönüştürülmüştür.

2000 ile 2012 yılları arasında yapılmış elektromanyetik kirlilik ölçümleri, sonuçları ve analizleri Şekil 1'den Şekil 7'ye kadar verilmiş olup ölçüm sonuçlarının maruziyet sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Sınır değerler Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

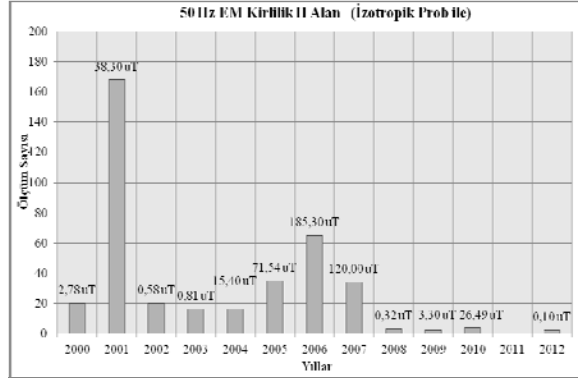


Şekil 1a. Elektrik iletim hatları ve trafolarla ait ölçümlerin (E alan, izotropik prob) yıllara göre dağılımı

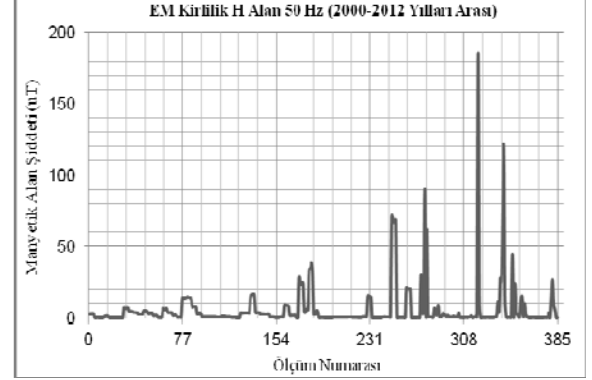


Şekil 1b. 2000-2012 yılları arasındaki elektrik iletim hatları ve trafolarla ait ölçümlerin (E alan, izotropik prob) analizi

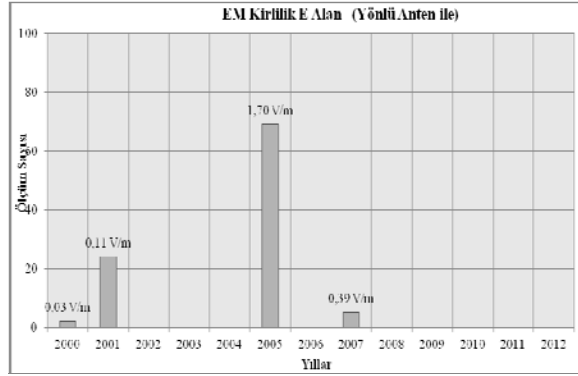
Grafiklere ait sütunlar üzerinde verilmiş olan alan şiddet değerleri, o yıllarda ölçülmüş olan maksimum alan şiddet değerlerini göstermektedir.



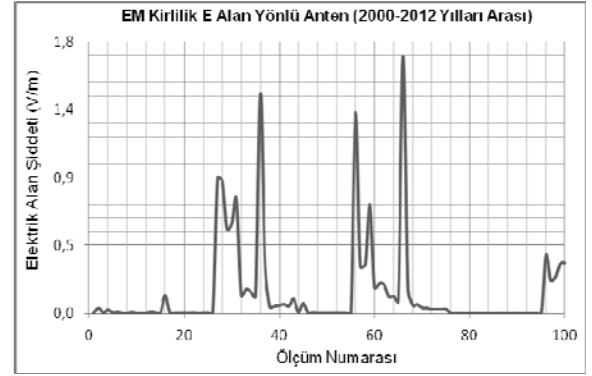
Şekil 2a. Elektrik iletim hatları ve trafolarla ait ölçümlerin (H alan, izotropik prob) yıllara göre dağılımı



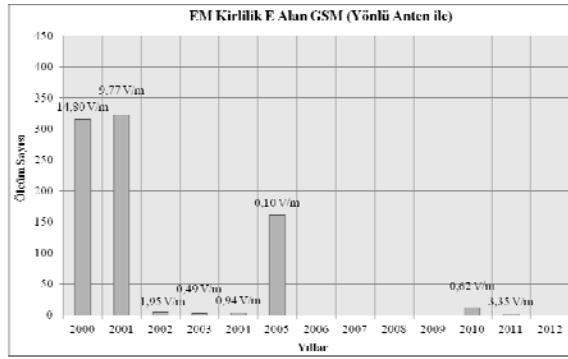
Şekil 2b. 2000-2012 yılları arasındaki elektrik iletim hatları ve trafolarla ait ölçümlerin (H alan, izotropik prob) analizi



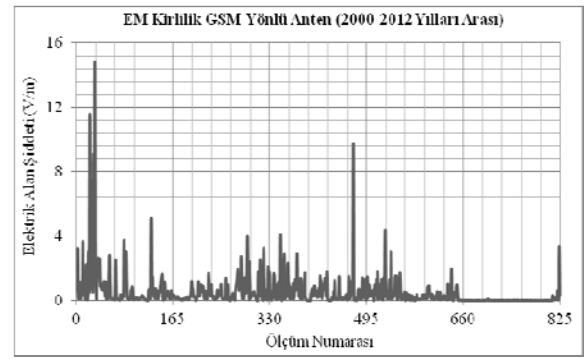
Şekil 3a. Elektrik/elektronik cihazlara yönelik ölçümlerin (E alan, yönlü anten, 30 MHz-40 GHz) yıllara göre dağılımı



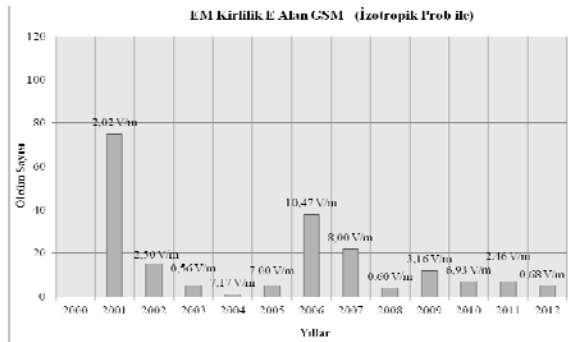
Şekil 3b. 2000-2012 yılları arasındaki elektrik/elektronik cihazlara yönelik ölçümlerin (E alan, yönlü anten, 30 MHz-40 GHz) analizi



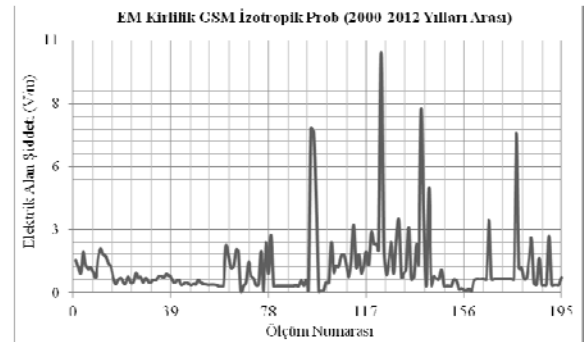
Şekil 4a. GSM baz istasyonlarına yönelik ölçümlerin (E alan, yönlü anten, 800 MHz-6 GHz) yıllara göre dağılımı



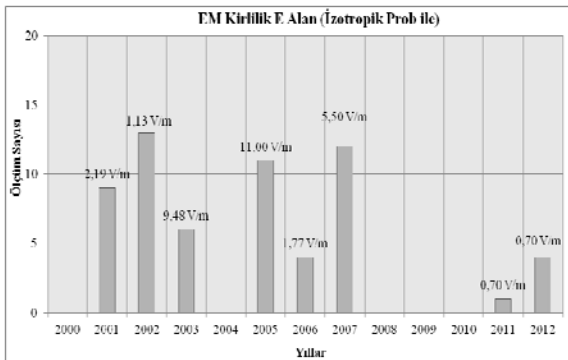
Şekil 4b. 2000-2012 yılları arasındaki GSM baz istasyonlarına yönelik ölçümlerin (E alan, yönlü anten, 800 MHz-6 GHz) analizi



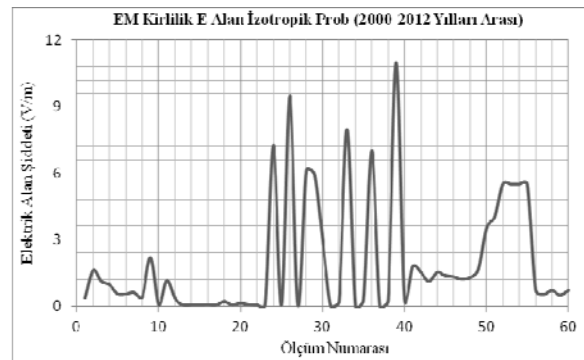
Şekil 5a. GSM baz istasyonlarına yönelik ölçümlerin (E alan, izotropik prob, 100 kHz-6 GHz) yıllara göre dağılımı



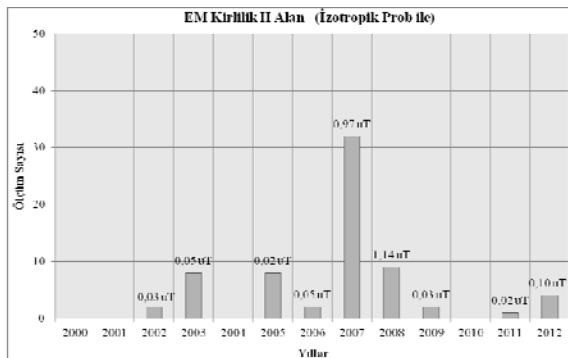
Şekil 5b. 2000-2012 yılları arasındaki GSM baz istasyonlarına yönelik ölçümlerin (E alan, izotropik prob, 100 kHz-6 GHz) analizi



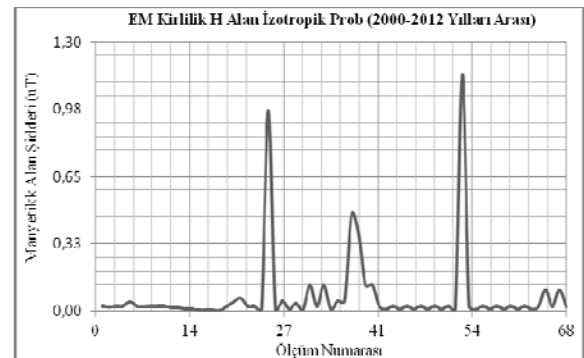
Şekil 6a. Elektrik/elektronik cihazlarına yönelik ölçümlerin (E alan, izotropik prob, 9 kHz-40 GHz) yıllara göre dağılımı



Şekil 6b. 2000-2012 yılları arasındaki elektrik/elektronik cihazlarına yönelik ölçümlerin (E alan, izotropik prob, 9 kHz-40 GHz) analizi



Şekil 7a. Elektrik/elektronik cihazlarına yönelik ölçümlerin (H alan, izotropik prob, 9 kHz-1 GHz) yıllara göre dağılımı



Şekil 7b. 2000-2012 yılları arasındaki elektrik/elektronik cihazlarına yönelik ölçümlerin (H alan, izotropik prob, 9 kHz-1 GHz) analizi

Tablo 1. 0 Hz - 300 GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için limit değerler (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu)

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)	H-alan şiddeti (A/m)	B-manyetik akı yoğunluğu (μT)
1 Hz'e kadar	-	32000	40000
1 Hz - 8 Hz	10000	$32000 / f^2$	$40000 / f^2$
8 Hz - 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0,025 kHz - 0,8 kHz	$750 / f$	$8 / f$	$10 / f$
0,8 kHz - 3 kHz	$250 / f$	5	6,25
3 kHz - 150 kHz	87	5	6,25
0,15 MHz - 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$
1 MHz - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$
10 MHz - 400 MHz	28	0,073	0,092
400 MHz - 2000 MHz	$1,375 / f^{1/2}$	$0,0037 / f^{1/2}$	$0,0046 / f^{1/2}$
2 GHz - 300 GHz	61	0,16	0,20

Tablo 2. 50 / 60 Hz elektrik ve manyetik alanlara maruz kalma sınır değerleri (IRPA/INIRC Guidelines)

Maruz Kalma Karakteristiği		Elektrik Alan Şiddeti kV/m (rms)	Manyetik Akı Yoğunluğu mT (rms)
Çalışanlar	Tüm çalışma günü	10	0,5
	Kısa süre	30	5
	Uzuvlar (kol ve bacak gibi vücuda eklemle bağlı)	--	25
Genel Halk	24 saat maruz kalma	5	0,1
	Günde birkaç saat maruz kalma	10	1

Elektromanyetik kirlilik ölçümlerine ait ölçüm belirsizlikleri, Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Elektromanyetik kirlilik ölçümlerine ait belirsizlik değerleri

Frekans Aralığı	Alan Çeşidi	Alıcı Çeşidi	Ölçüm Belirsizliği
5 Hz -32 kHz	Elektrik alan	İzotropik prob	2,92 dB
5 Hz -32 kHz	Manyetik alan	İzotropik prob	2,74 dB
9 kHz – 30 MHz	Elektrik alan	İzotropik prob	2,22 dB
9 kHz – 30 MHz	Manyetik alan	İzotropik prob	2,22 dB
10 kHz – 30 MHz	Manyetik alan	Yönlü anten	2,34 dB
100 kHz – 6 GHz	Elektrik alan	İzotropik prob	2,70 dB
6 GHz – 40 GHz	Elektrik alan	İzotropik prob	3,74 dB
27 MHz – 1 GHz	Manyetik alan	İzotropik prob	2,50 dB
30 MHz – 1 GHz	Elektrik alan	Yönlü anten	2,84 dB
1 GHz – 18 GHz	Elektrik alan	Yönlü anten	3,02 dB
18 GHz – 40 GHz	Elektrik alan	Yönlü anten	3,54 dB

3. Sonuç

UME tarafından 2000 ile 2012 yılları arasındaki ve elektrik iletim hatları, trafolar, GSM baz istasyonları, FM, TV vericileri gibi kaynakların oluşturduğu Türkiye'nin bir çok yerinde yapılmış elektromanyetik kirlilik ölçümlerinin analizleri yapılmıştır. Ölçümler, izotropik problar ve yönlü antenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ICNIRP guidelines, IRPA/INIRC guidelines ve Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun yönetmelikleri ve bu yönetmeliklerin belirlemiş olduğu maruziyet limitleri esas alınmıştır. Elektromanyetik kirlilik ölçümlerine ait ölçüm belirsizlikleri ayrıca verilmiştir.

Kaynaklar

- [1]. R. Gamidov, M. Çetintaş, H. Karacadağ, A. Gedik, M. Yoğun, M Çelik, “Measurement of electromagnetic radiation from GSM base station in Turkey”, Conference digest of Asia – Pasific Radio Science Conference, Japan, 2001.
- [2]. R. Hamid, M. Cetintaş, H. Karacadağ, A. Gedik, M. Yoğun, M. Çelik, A. Fırlarer, “Measurement of Electromagnetic Radiation from GSM Base Stations”, Proceeding of IEEE International Symposium on EMC, Turkey, 2003.
- [3]. Hamid R., Çetintaş M., Kunter F. ve Karacadağ H., “Elektromanyetik Kirlilik, GSM Baz İstasyonları ve Işınımın Ölçülmesi”, Uluslararası katılımlı Kent ve Sağlık Sempozyumu, 0157, s.33, 2006.
- [4]. ICNIRP Guidelines, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz)”, Health Physics, vol. 74, number 4, pp.494-522, April 1998.
- [5]. IRPA/INIRC Guidelines, “Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields”, Health Physics, vol. 58, number 1, 1990.
- [6]. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun olumsuz etkilerinden çevre ve halkın sağlığının korunmasına yönelik alınması gereken tedbirlere ilişkin yönetmelik”, Resmi Gazete, numara 27651, 24 Temmuz 2010.
- [7]. http://www.pssurvival.com/ps/radio/Antennas/Antenna_Terms_And_Formulas_2004.pdf