

# Seçilmiş Bir Pilot Bölgede Uzun Süreli ve Sürekli Elektromanyetik Kirlilik Seviyelerinin Ölçülmesi ve Haritalanması

Teoman KARADAĞ<sup>1</sup>, Ali Rıza ÖZDEMİR<sup>2,\*</sup>, Teymuraz ABBASOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Malatya, Türkiye*

<sup>2</sup>*Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara, Türkiye*

*Başvuru:15/04/2014 Düzeltme:30/08/2014 Kabul:01/09/2014*

## ÖZET

Cep telefonları başta olmak üzere, mobil cihazların günlük hayatımızdaki kullanıcı sayısı ve kullanım süreleri hızla artmaktadır. Bu hızlı artış gerek telefon görüşmeleri, gerek mobil internet kullanımı ve gerekse mobil sistemlerin sunmuş olduğu hizmetlerin hızlı ve kesintisiz olması ile bu hizmetlerin alt yapısını oluşturan baz istasyonlarının sayısını da doğru orantılı olarak arttırmaktadır. Bu değişimin gözlenmesi için üç yıllık bir periyotta anlık ve uzun süreli ölçümle Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bulunan baz istasyonlarının ve diğer elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı elektromanyetik alan şiddetlerinin dönemsel, frekans bazlı elektromanyetik alan yoğunluk haritaları belirlenmiştir. 2011 yılından, 2013 yılına uzayan bir periyotta dönemsel ölçümler alınmıştır. Bu dönemsel değişimler kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, şehir merkezi olan bölgede, var olan elektrik alan seviyelerinin, günün değişen saatlerindeki değerlerini gözlemlemek amacıyla iki adet sürekli elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Böylelikle ortamdaki elektromanyetik alan kaynağı belirlenmiştir. Anlık ve sürekli olarak ölçülmüş olan tüm değerler çalışma ile sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** *Elektrik ve Manyetik Alanlar; Yüksek Frekans Elektromanyetik Alan; Elektromanyetik Alanların İzlenmesi, Elektromanyetik Kirlilik Haritaları.*

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ile çalışan baz istasyonlarının sayısının artışına paralel olarak artan elektromanyetik alan kirliliğinin canlılar üzerindeki etkisi sürekli olarak gündemde tutulmaktadır [1].

Elektromanyetik alanların yayılması, elektromanyetik radyasyon olarak da tanımlanır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon, dalga veya parçacıklar

şeklinde yayılan bir enerjidir. Günümüzde elektromanyetik dalgalar çok sayıda düzenek ve kurgulardan oluşarak bir radyasyon kuşatması haline gelmiştir. Elektromanyetik, elektromanyetik spektrum olarak bilinen frekans ve şiddetine göre sınıflandırılır [2]. 30kHz-300GHz frekans aralığındaki yüksek frekanslı elektromanyetik alana (HF-EMF) maruz kaldıktan sonra yan etkilerin olup olmadığı hükümetler, kamusal kurumlar ve elbette ki bilimsel çalışmalarla ele alınmakta ve

\*Corresponding author, e-mail: arozdemir@btk.gov.tr

değerlendirilmektedir. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların oluşturduğu esas kirliliğin baz istasyonları ve mobil telefonlardan kaynaklandığı malumdur. Bu sebeple bu tür bilimsel çalışmalar esasen mobil telefonlar ve baz istasyonlarının canlılar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yönündedir [3]. Günümüzde elektromanyetik kirliliğin biyolojik sistemler üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla da birçok çalışma yapılmakta ve sonuçlar tartışılmaktadır. Bu tartışmaların büyük çoğunluğu, baz istasyonları ve cep telefonlarının olası kanser edici etkileri üzerindedir. Yapılan kimi epidemiyolojik çalışmalar bazı kanser türleriyle baz istasyonlarının artışı ve cep telefonları kullanımı arasında ilişki kurmayı başarmış olsa da aksi sonuçlara ulaşmış çalışmaların sayısı da yeterince fazladır [3-10]. Bu yüzden elektromanyetik kirliliğin insan sağlığına etkisi, bu konu üzerinde çalışan bilim adamları tarafından halen tartışılan güncel bir problem olarak ortaya konulmaktadır.

Birçok çalışmada da elektromanyetik kirliliğin yaban hayatı üzerine etkisi rapor edilmiştir. Bu alanda en kapsamlı literatür Alfonso Balmori tarafından yapılmıştır [11]. Bu çalışmada elektromanyetik alanların yaban hayatı üzerinde zararları incelenmiştir.

Yukarıda adı geçen ve literatürde sunulan birçok benzer sonuçların incelenmesi elektromanyetik alanların hem canlılar hem de ortam üzerindeki uzun süreli etkilerinin değerlendirilmesinde sürekli ölçümün bulunmadığını ve ya yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sunulan veriler ve sonuçlarda ciddi fikir ayrılıkları vardır. Bu fikir ayrılıklarının esas nedeni elektromanyetik radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerinin uzun süreli ölçüm ve kontrol yöntemlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Özellikle mobil iletişim sistemleri çok sayıda ve farklı güçlere sahip olan baz istasyonları gerektirmektedir. Öte yandan bu istasyonlar coğrafi anlamda farklı hücre dağılımına sahiptirler. Farklı güç yoğunluğu dağılımı ve frekanslarda çalışan bu sistemler yoğun yerleşim alanlarında, hücre yapıları ile kullanıcılara (data ve ses) haberleşme akışı daha hızlı ve sürekli sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun için artan güçte ve sayıda, daha yüksek frekanslarda çalışan istasyonlara gereksinim duyulmaktadır. Bu artış kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanmasına paralel olarak süreklilik göstermektedir. Her geçen gün yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojileri ile dönüşüm yaşanan dünyada, elektromanyetik kirlilik düzeyleri de bu dönüşüm hızına paralel değişim göstermektedir. Özellikle büyük şehirlerde iletişim trafiği zamana ve yerleşim yerine bağlı, stokastik olarak değişmektedir. Bu değişimden ötürü elektromanyetik kirlilik düzeylerini tespit etmek ve izlemek zordur, bunun tespiti için sonlu, az sayıda ölçümler ile bu sistemlerin yaydıkları elektromanyetik kirliliğin belirlenmesi ve kontrolü kolay değildir. Yapılan anlık ölçümlerin yanı sıra uzun süreli ölçümlerin yapılması, elektromanyetik kirliliğin devamlı bir şekilde izlenmesi, seviyelerinin belirlenmesi ve ortam parametrelerine göre değişimlerinin gözlenebilmesi büyük önem arz etmektedir. Başka bir değişle elektromanyetik kirliliğin ortam ve canlılar üzerindeki etkisinin anlık ölçüm sonuçlarına göre değerlendirilmesi her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle şehir

merkezlerinde ölçülmüş elektromanyetik kirlilik seviyesi değişimlerinin ve etkilerinin, anlık ve sonlu sayıda ölçümlerle değil; uzun süreli ölçümlerle yapılması ve elde edilen sonuçların literatürde sunulmuş benzer verilerle birlikte değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik dalgaların ortamdaki dağılımı birçok parametreye bağlıdır. Örneğin bir şehir için günün farklı saatlerinde, şehrin farklı bölgelerinde değişim gösteren iletişim trafiği, elektromanyetik dalganın ortamda ilerlemesini etkileyen ortamın sıcaklık ve nem değerleri bu tür parametrelere dâhil edilebilir. Bu parametrelerin değişimleri göz önüne alındığında ancak sürekli ölçümlerle ortamdaki elektromanyetik dalganın dağılımı daha az hata ile değerlendirilebilir. Bundan başka bazı canlıların fiziksel özelliğine, sağlık durumuna bağlı olarak düşük seviyeli, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar da ciddi rahatsızlıklar oluşturabilir [11]. Birçok araştırmalarda mikrodalga boyutlu radyasyonların canlıların farklı organlarına etkilerinin yakın mesafelerde daha etkin oldukları gözlenmiştir [12,13]. Bazı çalışmaların sonuçlarına göre ise elektromanyetik alan radyasyonunun canlılar üzerindeki etkisi hem dalga boyuna hem de bu dalganın etki süresine bağlıdır [14-16]. Başka bir değişle yeni nesil 3G ve 4G baz istasyonlarının çıkış güçlerinin bir önceki nesillere göre düşük olmasına rağmen, kullanıcı bazlı, kullanım süresinin daha uzun olması ve bu sürenin her geçen gün artması bu dalgaların canlılar üzerinde birikim etkisinin artmasına neden olur [17]. Buna göre elektromanyetik alanların canlılar ve ortam üzerindeki etkilerinin periyodik ölçümlerle değil ancak sürekli ölçüm yöntemi ile değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir [18]. Elektromanyetik alan ve dalgaların yayılması ve canlılar üzerindeki etkisinin bir çok matematik modelleri de literatürden bellidir [19-21]. Bu amaçla Finite-Difference Time Domain FDTD ve Finite Element Methods FEM yöntemleriyle modellemeler sonucunda elektromanyetik alanın farklı ortamlardaki değerleri elde edilmiştir. Birçok durumlarda farklı integral ve diferansiyel yöntemlerde kullanılarak elektromanyetik alan dağılımları değerlendirilmiştir [22,23]. Bütün bu hesaplama yöntemleri, bir çok parametreler içermekle yaklaşık yöntemler olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda ise elektromanyetik dalgaların yayılmasının fiziksel özelliklerinden ziyade; elektromanyetik kirliliğin istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi literatürde daha geniş yer almaktadır.

İletişim sistemlerinde kullanılan 30kHz-300GHz frekanslarına kadar değişen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların etkileri yoğun yaşam alanlarında daha ciddi boyutlarda gündeme gelmektedir. Yoğun yaşam ve çalışma ortamları da esasen şehir merkezi ve yakın bölgeleri, tıp merkezleri, üniversite kampüsleri ve büyük ticaret merkezleridir [24-28]. Bu nedenle yüksek frekanslı elektromanyetik alanların bu tür ortamlardaki değerlerinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve muhtemel etkilerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Artan elektromanyetik kirliliğin farklı ortamlarda değişim hızının belirlenmesi, şehir merkezi ve yakın bölgelerinin detaylı elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulması, belirtilen bölgelerde sürekli elektromanyetik kirlilik seviye ölçümlerinin

yapılması ve sonuçların gerekirse internet ortamında kamuoyu ile paylaşılmasında yarar vardır.

Çalışmada 500.000'in üzerinde insanın yaşamakta olduğu şehir merkezi ve yakın bölgelerinde uzun süreli ölçümler alınmıştır. Elektrik alan seviyesinin yüksek olduğu şehir merkezinde ise 4.000.000'un üzerinde sürekli ölçümler ile elektrik alan seviyelerinin yarımsar saatlik bazda değişimleri gözlemlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

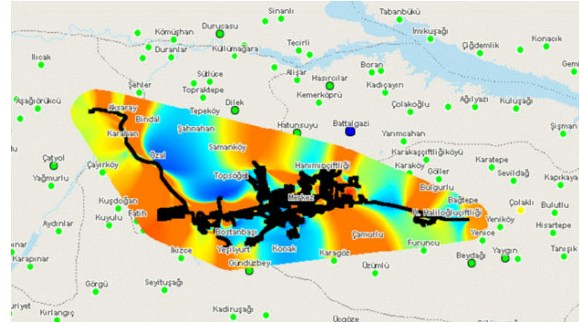
## 2. MATERYALLER VE METOD

Sunulan çalışma 2010 yılı ekim ayında Malatya ilini kapsayan ve elektromanyetik alan kirliliğinin tespitini amaçlayan ölçümlerle başlamıştır. Bu çalışmada Malatya şehir merkezi sınırları içerisinde nüfusun yoğunluklu olduğu yaşam alanlarında Narda EMR300 cihazı ile 100kHz-3 GHz frekans aralığında ölçümler alınmıştır. Bu çalışmaya müteakip olarak, bir sonraki yılın aynı döneminde yapılan ölçümlerde 27MHz-3GHz frekans aralığında Narda SRM 3006 cihazı kullanılarak frekans spektrumu yapılmış ve elektromanyetik kirliliğe sebep olan kaynakların frekansları saptanmış ve elektromanyetik kirlilik değerleri ölçülmüştür. Böylelikle frekans bazlı kirlilik alanları belirlenebilmiştir. Çalışma, metropol bir şehir merkezi ve şehir merkezinin yakınlarına bulunan toplu yaşam alanlarında bütün alanlar taranarak yapılmıştır. Ölçümler hareket halindeyken (12km/h), ölçüm alınan her bir noktada elektrik alan şiddeti değeri, o noktanın koordinat değerleriyle birlikte alınmıştır. Böylelikle koordinatlarıyla ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleriyle, ölçüm alınan seçilmiş bölgenin frekans bazlı elektromanyetik alan dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ölçümler yapılırken 38.376 Kuzey Batı, 38.199 Kuzey Doğu, 38.463 Güney Batı ve 38.296 Güneybatı koordinatlarının içerisinde yer alan bölgede; elektrik alan şiddeti ölçümleri, koordinat bilgileriyle birlikte alınmıştır. Bu yöntem günlük hayatta kullanılan sistemlerin çoğunlukla "mobil" hareket halindeyken kullanılması ve hareket halindeyken yukarıda bahsedilen kaynakların etkilerinin gözlenmesi amacıyla tercih edilmiştir. Alınan ölçümler 100MHz ve altındaki frekanslar, GSM 900MHz ve 1800MHz frekansları ve UMTS 2100MHz frekansı olarak gruplanarak, 4 frekans grubunda incelemeler yapılmıştır. Periyodik olarak her beş saniyede koordinatları ile elektrik alan ölçümleri alınmıştır. Bu alan değerlerinden yukarıda belirtilmiş olan frekans gruplarına uygun koordinatlardaki en yüksek elektrik alan değeri seçilmiştir. Seçilen noktalar Map Info programı kullanılarak harita üzerine yerleştirilmiştir. Böylece Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinin, belirlenmiş olan frekans gruplarına ait maksimum seviyelerini içeren değerler ile elektromanyetik alan kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışma frekans spektrumu genişletilerek ve ölçümleme sıklığı artırılarak 2013 yılında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan Wavecontrol SMP Meter ile tekrarlanmıştır. Son aşama olarak şehir merkezi olan bölgede, var olan elektrik alan seviyelerinin, günün değişen saatlerindeki değerlerini gözlemlenmek amacıyla iki adet Wavecontrol MonitEM sürekli elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu ile ölçümler alınmıştır. Bunlardan bir tanesi GSM ve UMTS frekanslarında ölçüm alırken, diğeri 100kHz-8GHz

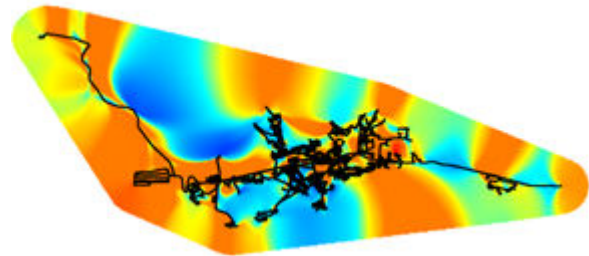
frekans aralığında, haftalar süresince 24 saat sürekli ölçümler olarak gün içerisindeki elektrik alan değişim değerleri anlık olarak belirlenmiş ve ortamda baz istasyonu kaynaklı elektrik alanların yıllar içerisindeki değişiminin tespitine imkan sağlanmıştır. Sürekli ölçüm istasyonu her saniyede iki ölçüm almaktadır. Yarım saatlik periyotta almış olduğu 3.600 ölçümü "sliding window" matematiksel modeli ile bir araya getirerek her yarım saate ait bir ortalama elektrik alan şiddeti değerini üzerindeki dahili GPRS modem aracılığı ile merkezi bir sisteme aktarmakta ve verilere günün her anında ulaşabilmektedir.

## 3. BULGULAR

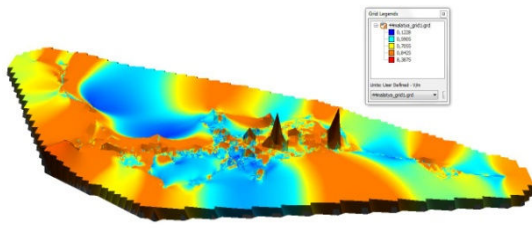
Bu haritaları inceleyecek olursak; öncelikle 2010 yılında Malatya şehir merkezinde yapılmış olan çalışmada EMR300 cihazı ile 100kHz-3 GHz frekans aralığında alınan 654 ölçüm sonucuna göre çizilmiş elektrik alan dağılım haritaları aşağıdaki Şekil-1-2 ve 3'de verilmiştir. Kırmızı renk tonları elektrik alan şiddeti değerinin yüksek olduğu, mavi renk tonları ise düşük olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Yapılmış olan çalışmada esasen şehir merkezi olan bölgede elektrik alan şiddeti seviyelerinin yüksek olduğu Şekil-2 görülmektedir. Üç boyutlu elektromanyetik alan kirlilik haritası incelendiğinde şehir merkezi olan bölgedeki yüksek değerli (8.3875V/m) elektrik alan değerleri dikkat çekmektedir (Şekil 3).



Şekil 1. Genel olarak şehir merkezinde geçilen bölgelerden alınmış değerlere göre çıkarılmış elektromanyetik alan dağılım haritası.



Şekil 2. MapInfo 9.5 programında, alınan ölçüm değerlerine göre çizilmiş 2 boyutlu elektromanyetik alan dağılım haritası.



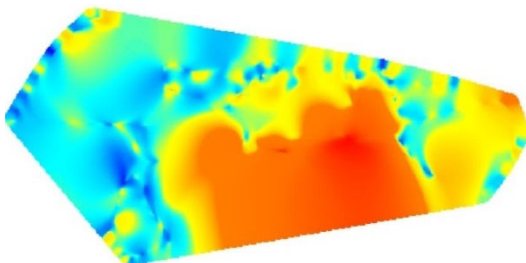
Şekil 3. MapInfo 9.5 programı, Vertical Mapper sekmesinde Doğal Komşuluk (Natural Neighbour) Metodu kullanılarak çizilmiş, alınan ölçüm değerlerine göre 3 boyutlu elektromanyetik alan dağılım haritası.

Bu çalışmaya müteakip olarak bir sonraki yılın aynı döneminde Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında ölçülmüş olan en yüksek 470 elektrik alan seviyelerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası Şekil 4'te paylaşılmıştır.

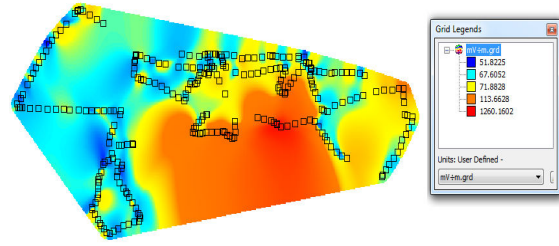


Şekil 4. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerini gösteren koordinatsal yol.

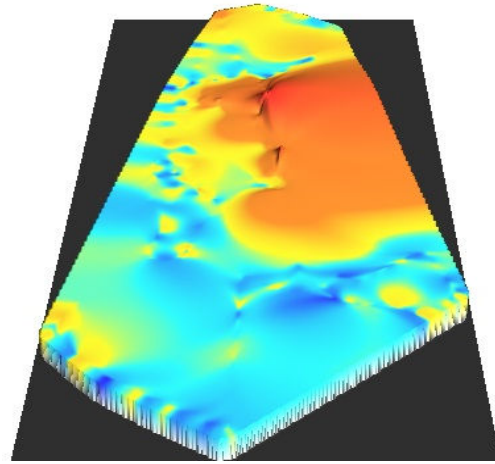
Alınmış olan ölçümlerde 470 noktada Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında en yüksek (1.26V/m) elektrik alan şiddeti değeri ölçülmüştür. Yapılmış olan ölçümler sonucunda mevcut alanın %35'ini Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre elektrik alan dağılım haritaları aşağıdaki gibidir. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında 470 noktada ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleri ile çizilmiş elektrik alan dağılım haritası Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 6'da ise elektrik alan dağılım haritası ve ölçüm alınan noktalar verilmiştir.



Şekil 5. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası.



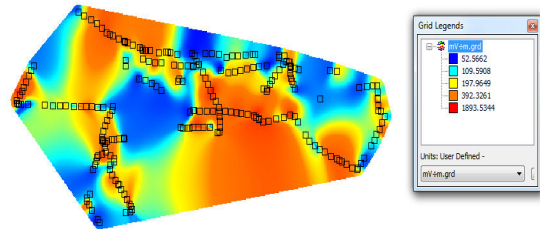
Şekil 6. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yol.



Şekil 7. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.

Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında alınmış olan değerler esasen şehir merkezinde yoğunlaşmaktadır. Elektromanyetik alanın etkin seviyeleri şehrin yoğunluklu yaşam alanlarında ölçülmüştür. Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında ölçülmüş olan değerlerle çizilmiş üç boyutlu elektrik alan kirlilik haritası Şekil 7'de paylaşılmıştır.

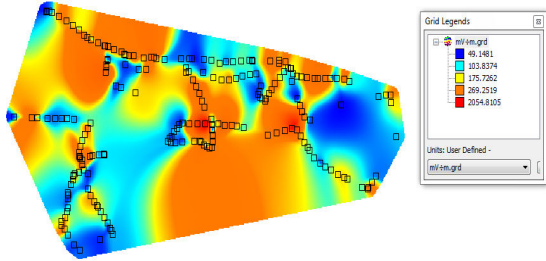
Alınmış olan ölçümlerde 391 noktada 900MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yapılmış olan ölçümler sonucunda mevcut alanın %29'unu 900MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan üç boyutlu elektrik alan dağılım haritası Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 900MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 2 boyutlu gösterimi.

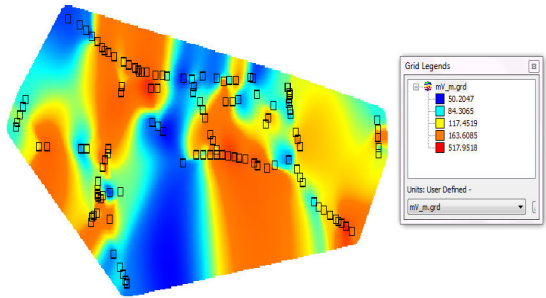


Alınmış olan ölçümlerde 316 noktada 1800MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yapılmış olan ölçümler sonucunda alanın %23'ünü 1800MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan üç boyutlu elektrik alan dağılım haritası Şekil 9'da verilmiştir.



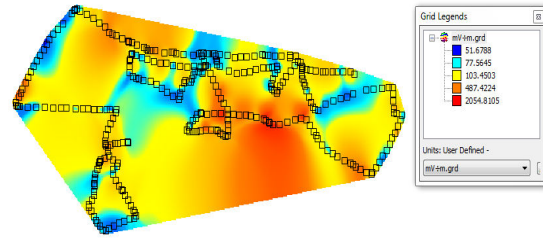
Şekil 9. 1800MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 2 boyutlu gösterimi.

Alınmış olan ölçümlerde 182 noktada 2100MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yapılmış ölçümler sonucunda mevcut alanın %13'ünü 2100MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası aşağıdaki gibidir.



Şekil 10. 2100MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 2 boyutlu gösterimi.

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde 1359 noktada yapılmış olan ölçümler bir araya getirilmiştir. Çalışmada esasen belirlenmiş olan Radyo ve TV yayıncılığı frekansları, GSM 900MHz ve GSM 1800MHz frekansları ve UMTS 2100MHz frekanslarına ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirilerek çizilmiş üç boyutlu elektrik alan dağılım haritası Şekil-10 incelendiğinde görülmektedir ki; tüm bu frekans gruplarına ait değerler esasen şehir merkezi ve şehrin yoğunluklu yaşam alanlarını kapsamaktadır.

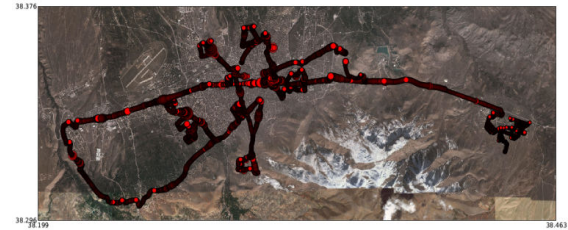


Şekil 11. Belirtilmiş olan frekans gruplarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek 1359 elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımının 2 boyutlu gösterimi.

Yapılmış olan ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 94,486221MHz frekans bandında 5,673V/m'dir.

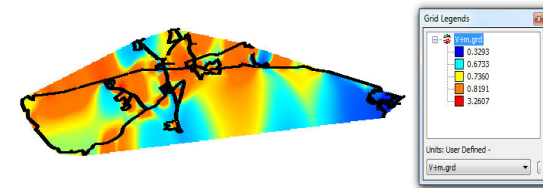
Birim alana düşen güç miktarı ise 85,36mW/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Alınmış olan bu ölçümlere ek olarak Malatya ili şehir merkezinde 2010 yılı Ekim ayına kadar çalışan baz istasyonu sayısı 405 iken 2011 yılı ekim ayına geldiğimizde bu sayı 275 adet artarak 680 baz istasyonuna ulaşmıştır.

2013 yılında tekrarlanmış olan çalışmada frekans aralığı genişletilmiştir. 100kHz-8GHz frekans aralığında Wavecontrol SMP Meter ile her saniye bir ölçüm aralık; 15.000'in üzerindeki ölçüm sonuçlarına göre elektrik alan dağılımı belirlenmiştir. Ölçümlerde şehir merkezi ve yakınlarında bulunan toplu yaşam alanlarını içine alan koordinat bilgileri, ölçüm alınan bölgenin fiziki uydur görünümü üzerinde ölçüm alınan noktaların belirtildiği harita Şekil 12'de verilmiştir.



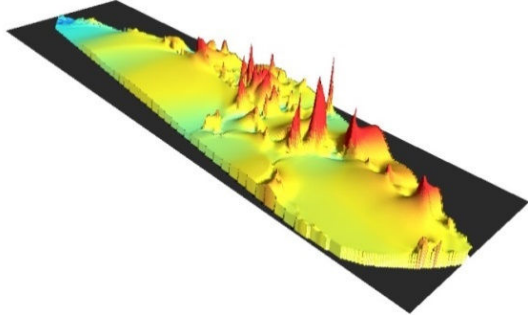
Şekil 12. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı.

Ölçüm alınan koordinatsal yol ve elektrik alan dağılım haritası ise Şekil-13'de verilmiştir.



Şekil 13. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yol.

Elde edilen sonuçlara göre şehir merkezinde elektrik alan şiddeti değerleri giderek artmaktadır. Şehir merkezinde elektrik alan şiddeti değerlerinin en yüksek olduğu noktalar belirlenerek hazırlanmış Şekil 14 ve bu değerlere ait üç boyutlu elektrik alan dağılım haritası Şekil 15 incelendiğinde 2010 yılından, 2013 yılına gelinen noktada maximum seviyelerdeki artış açık bir şekilde dikkat çekmektedir.



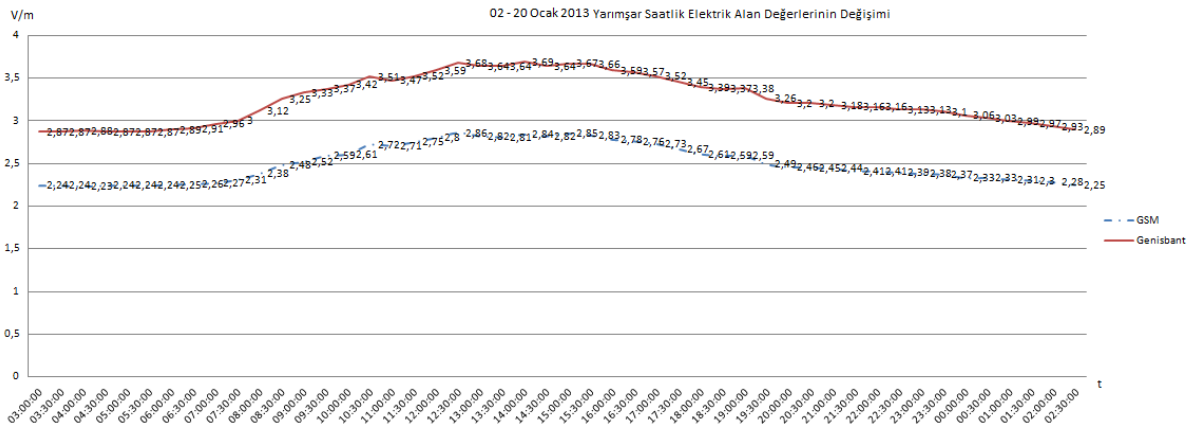
Şekil 15. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yolda en yüksek elektrik alan seviyelerinin dağılımının belirginleştirildiği 3 boyutlu gösterimi.

2012 yılında Malatya şehir merkezinde başlanılmış olan çalışma ile sürekli ölçümler alınarak, günün her anındaki elektrik alan değişimleri ölçülmüştür. Alınmış olan bu sonuçlara göre 100kHz-8GHz frekans aralığında ve GSM & UMTS frekanslarındaki sürekli elektrik alanları izleme istasyonları ile aynı noktada sürekli ölçümler alınmıştır. Paralel çalışma süresince alınan 862 ortalama ölçüm sonuçlarına göre 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyonun ölçmüş olduğu en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 4,22V/m ve periyot boyunca ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması 3,24V/m'dir. GSM ve UMTS frekanslarında ölçüm alan istasyonun ölçmüş olduğu en yüksek elektrik alan şiddeti 3,31V/m ve periyot boyunca ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması 2,508V/m'dir.

Ölçümün yapıldığı 3 hafta süresinde elde edilen bu sonuçlar yarımsar saatlik periyotda düzenlendiğinde ortamda bulunan elektrik alan şiddeti değerlerinin %77'si baz istasyonlarınca ortama yayılan elektrik alan değeri olup kalan %23'lük kısım ise 100kHz-8GHz aralığında yayın yapan radyo, televizyon, telekomünikasyon amaçlı cihazlardan kaynaklandığı belirlenmiştir.

2011 yılında Malatya genelinde anlık olarak yapılan frekans spektrumlu elektrik alan ölçümlerinde 900MHz,1800MHz ve 2100 MHz frekanslarında ölçülmüş elektrik alan seviyeleri %65, radyo ve tv yayıncılığı frekanslarda ölçülmüş olan elektrik alan seviyeleri %35'dir. Bu sonuçları daha açık değerlendirmek için 02 Ocak - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında yarımsar saatlik periyotla ölçülen elektromanyetik alan değerleri bir araya getirilerek Şekil-16'da grafik olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi söz konusu zaman aralığında 100kHz-8GHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri ile GSM & UMTS bandındaki ölçüm değerleri birbirine net bir paralellik ve karakteristik benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla ortamdaki elektromanyetik alan değerleri esasen GSM sinyallerinden kaynaklanmaktadır. GSM sinyal değerlerindeki değişim de baz istasyonlarıyla kurulan çağrı sayısı ve süresi ile değişim göstermektedir. Bu eğriler arasındaki oluşan fark ise diğer düzenek veya sistemlerden (Radyo, televizyon ve telekomünikasyon sistemleri vs) kaynaklanmaktadır.

Son olarak Tablo 1'de 2010 yılında BTK tarafından 100kHz-3 GHz frekans aralığında Malatya ilinde yapılmış çalışma ile, 2013 yılında 100kHz-8GHz frekans aralığında, aynı bölgede yapmış olduğumuz çalışmadan elde edilmiş sonuçlar ve bu sonuçların yüzdelerle dağılımı yer almaktadır. Tablodan görüldüğü gibi örneğin 2010 yılda ölçüm değerlerinin yüzdelerle büyük bir kısmını 1-3V/m'lik değerler oluşturduğu halde, 2013 yılında ölçüm değerlerinin yüzdelerle büyük kısmını 0-1V/m'lik değerler oluşturmaktadır. Bunun nedeninin geçen üç yıllık süreçte 2G sistemlerinden 3G sistemlerine geçiş olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 16. 02-20 Ocak 2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz ve GSM+UMTS frekanslarında sürekli ölçüm alan istasyonlara ait yarımsar saatlik zaman dilimlerindeki elektrik alan değişim grafiği.

Tablo 1. 2010 ve 2013 yıllarında Malatya ilinde hareketli olarak yapılmış olan Elektrik Alan Ölçüm Sonuçları

Malatya	Toplam Ölçüm	0-1 V/m	1-3V/m	3-5V/m	5-6V/m	6-9V/m
		Ölçüm / Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm / Yüzde
2010 BTK	654	280 / %42.81	296 %45.26	67 %10.24	8 %1.22	3 %0.46
2013	15867	12875 / %81,14	2920 %18,4	67 %0,42	4 %0,025	1 %0,0063

“Yaklaşık olarak 25 kat daha fazla ölçüm alınmıştır.”

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Çalışmanın yürütüldüğü üç yıl içerisinde yapılmış olan ölçümler değerlendirildiğinde çalışmanın başladığı 2010 yılından günümüze baz istasyonu sayısında etkin bir artış olmasına rağmen, 2010 yılında ölçülen elektrik alan değerlerinin %45’lik kısmı 1-3 V/m iken, 2013 yılına gelindiğinde %81’lik etkin alan değeri 0-1V/m düzeylerinde olduğu saptanmıştır.

2. 2010 yılından 2013 yılına uzayan periyotta yeni yaşam alanlarının oluşturulması ve bu alandaki nüfus yoğunluğu artış göstermiştir. Buna paralel olarak bu bölgedeki elektromanyetik kirlilik yaklaşık olarak 6 kat artmıştır. Bu artışlar 3 boyutlu elektromanyetik kirlilik haritasında belirgin pik noktalarıyla açıkça görülmektedir.

3. Şehrin merkez caddesinde 2011 yılından (0.9V/m), 2013 yılına kadar (4V/m) kirlilik düzeyi yaklaşık olarak 4 kat artış göstermiştir. Oluşturulmuş elektromanyetik kirlilik haritasında bu artış kırmızı bölgeler ve yükselişler olarak ortaya çıkmıştır.

4. Malatya şehir merkezinde oluşan elektromanyetik alanların frekans spektrumunun incelenmesi sonucu 2011 yılında GSM sinyallerinin, ortamdaki toplam sinyallerin %65’ini oluşturduğu halde, 2013 yılına gelindiğinde bu oran %77 seviyesindedir. Bu son yıllarda yeni nesil haberleşme sistemlerinin abone sayısı ve görüşme sürelerinin artması ile açıklanabilir. Dolayısıyla şehir merkezi ve yakın bölgelerinde baz istasyonlarının yaydığı yüksek frekanslı elektromanyetik alanların yoğunluğunun ilerleyen zamanlarda daha etkin düzeylere ulaşacağını göstermektedir.

5. Elektromanyetik kirliliğin şehir merkezleri ve yakın bölgelerinde sürekli artışı denetleyebilmek için sürekli ölçüm ve izleme sistemlerinden faydalanmak gerekmektedir. Büyük şehirlerde bu işlemler Monitem sürekli ölçüm istasyonları sistemi ile verimli bir şekilde yapılabilir.

#### KAYNAKLAR

[1] Sorgucu U., Develi I., Measurements and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31, 4, s: 404-415, 2012.

[2] Ulaby F.T., “Fundamentals of Applied Electromagnetics”, Englewood Cliffs, NJ, *Prentice Hall*, 2001.

[3] Hutter H. P., Moshhammer H., Wallner P., et al., Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations, *Occupation Environment Med.* 63, s: 307–313, 2006.

[4] Franke H., Ringelstein E. B., Stögbauer F., Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness, *Bioelectromagnetics*, 26, 7, s: 529-535, 2005.

[5] Kuribayashi M., Wang J., Fujivara O. et al., Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats, *Bioelectromagnetics*, 26,7, s: 578-588, 2005.

[6] Schüz J., Böhler E., Berg G., Schlehofer B., Hettlinger I., Schlaefer K., Wahrendorf J., Kunna-Grass K., et al., Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany), *American Journal of Epidemiology*, 163, 6, s: 512–520, 2006.

[7] Santini R., Santini P., Danze J. M., et al., Symptoms experienced by people in the vicinity of base stations: I/incidences of distance and sex, *Pathol. Biol.* 50, s: 369–373, 2002.

[8] E. A. Navarro, J. Segura, M. Portoles, et al., “The microwave syndrome: a preliminary study in Spain.”, *Electromagn. Biol. Med.*, no. 22, pp. 161–169, 2003.

[9] Oberfeld G., Navarro E., Portoles M., et al., The microwave syndrome-further aspects of a Spanish study, *3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields. Kos*, s: 2–9, 2004.

[10] Abdel-Rassoul G., El-Fateh, O. A., Salem, M. A., et al. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations, *Neurotoxicology*, 28, s:434–440, 2007.

[11] Balmori A., Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife, *Pathophysiology*, 16, s: 191–199, 2009.

[12] Nikolaevich N., Igorevna A., Vasil G., Influence of high-frequency electromagnetic radiation at non-thermal intensities on the human body, *A review of work by Russian and Ukrainian researchers. No Place to Hide 3*, s: 1–33, 2001.

- [13] Kemerov S., Marinkev M., Getova D., Effects of low-intensity electromagnetic fields on behavioral activity of rats, *Folia Med.* 41, s: 75–80, 1999.
- [14] Adey R., Bioeffects of mobile communications fields: possible mechanisms for cumulative dose, *New York: Chapman & Hall*, s:103–132, 1996.
- [15] Lai H., Biological effects of radiofrequency electromagnetic field, *Encyclopaedia of Biomat. Biomed. Eng.* 10, s:1–8, 2005.
- [16] Galeev A. L., The effects of microwave radiation from mobile telephones on humans and animals, *Neurosci. Behav. Physiol.* 30, s: 187–194, 2000.
- [17] Person T., Törnevik Ch., Larsson L. E., Loven J., Output Power Distributions of Terminals in 3G Mobile Communication Network, *Bioelectromagnetics*, 33, s: 320-325, 2012.
- [18] Gajsek P., Ravazzani P., Wiart J., Grellier J., Samaras T., Thuroczy G., Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, s: 1-8, 2013.
- [19] Jin J. The Finite Element Methods in electromagnetics NY, USA, *Wiley*, 1993.
- [20] Gandhi O.P., Chen J. Y., Electromagnetic absorption in the human head from experimental 6GHz handled transceivers, *IEEE Trans. Electromang. Compat.*, 37, 4, s: 547-558, 1995.
- [21] Gosselin M. C., Christ A., Kühn S., Kuster N., Dependence of the Occupational Exposure to Mobile Phone Base Stations on the Properties of the Antenna and the Human Body, *IEEE Trans. Electromang. Compat.*, 51, 2, s: 227-235, 2009.
- [22] Poljak D., Tham C.Y., Gandhi O. P., Sarolic A., Human Equivalent Antenna Model for Transient Electromagnetic Radiation Exposure, *IEEE Trans. Electromang. Compat.*, 45, 1, s: 141-145, 2003.
- [23] Poljak D., EMC advanced modeling in computational electromagnetic compatibility, NY, *Wiley*, 2007.
- [24] Kılıç M. A ., Çerezci O., Çevik Ö., Kalkan T., Cerrahpaşa Tıp Fakültesinin Elektromanyetik Alan Haritası, *EMANET 2011*, 1, s: 247-250, 2011.
- [25] Karadağ T., Abbasov T., Elektromanyetik alanların 'MonitEM' sistemi ile sürekli ölçülmesi ve izlenmesi, <http://www.emcturkiye2013.org/EMCProgram.rar> 2. Ulusal EMC Kongresi, *Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 2013.
- [26] Karadağ T., Abbasov T., Bir Üniversite Hastanesi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *EMANET 2013*, 2, 2013.
- [27] Karadağ T., Özdemir A.R., Abbasov T., İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Dönemsel Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Değerleri ve Haritaları, *EMANET 2013*, 2, 2013.
- [28] Karadağ T., Abbasov T., Telekomünikasyon Binası ve Radyolink İstasyonunda Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *EMANET 2013*, 2, 2013.