

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015203 (913-920)

AKU J. Sci. Eng.18 (2018) 015203 (913-920)

DOI: 10.5578/fmbd.67584

Araştırma Makalesi / Research Article

EV ORTAMINDA MARUZ KALINAN BAZ İSTASYONU KAYNAKLI ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİNİN İZLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Begüm Korunur Engiz¹, Çetin Kurnaz²^{1,2}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye.e-posta:¹bkengiz@omu.edu.tr, ²ckurnaz@omu.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.12.2017 ; Kabul Tarihi: 26.10.2018

Özet

Teknolojik gelişmelerin paralelinde hücreli sistemler ve temel yapı taşı olan baz istasyonları günlük hayatımızda her geçen gün daha fazla yer almaya başlamıştır. Her baz istasyonu bir elektromanyetik alan (EMA) kaynağı olduğundan, baz istasyonlarındaki bu artış ortamdaki EMA seviyelerinin de artmasına neden olmaktadır. Baz istasyonlarından kaynaklı EMA seviyelerinin uzun süreli ölçülmesi ve değerlendirilmesi özellikle insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada baz istasyonunu doğrudan gören farklı iki ev ortamında bir gün boyunca EMA ölçümleri alınmıştır. Ölçümlerde 100kHz -3GHz frekans bandındaki toplam EMA seviyesini ölçebilen PMM-8053 EMA ölçer kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları baz istasyonu kaynaklı EMA değerinin gün içinde baz istasyonu kullanım yoğunluğuna bağlı olarak büyük oranda değiştiğini göstermiştir. Ölçüm sonuçlarından; en yüksek ortalama elektrik alan şiddetinin BTK tarafından belirlenen limit değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. Elektrik alan şiddetinin günlük değişimini daha detaylı inceleyebilmek için gün; sabah, öğlen, akşam ve gece olmak üzere dört farklı zaman dilimine ayrılmıştır. Değerlendirmeler öğlen saatlerinde ölçülen elektrik alan şiddetinin gece saatlerinde kaydedilenlere göre belirgin derecede yüksek olduğunu göstermiştir. Çalışmanın son aşamasında ise elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişimi yumuşatma işlemi varken ve yokken modellenmiş; yumuşatma işleminin oluşturulan modelin doğruluğunu arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Elektromanyetik alan;
Elektrik alan şiddeti (E);
Uzun süreli E ölçümü;
Baz istasyonu;
PMM-8053.

MONITORING AND ASSESSMENT OF ELECTRIC FIELD STRENGTH DUE TO BASE STATIONS IN THE HOME ENVIRONMENT

Abstract

In parallel with rapid development in technology, cellular systems and therefore base stations have begun to take up more space in our daily lives. Because each base station is an electromagnetic field (EMF) source, the increase in base stations has resulted in an increase of EMF levels in the medium. Long term EMF measurements due to base stations and evaluation of them is very important especially in terms of human health. In this study, to determine the exposed EMF levels; a day long measurements were performed at two different home environment where line of sight paths exist. Measurements were taken using PMM-8053 EMF meter by which total EMF can be measured within the band 100 kHz-3 GHz. Measurement results show that emitted EMF levels vary substantially depending on the base station usage density. Additionally the maximum average electric field strength is below the limits determined by ICTA. In order to analyze the day long measurements more precisely, the day was subdivided into for specific interval as morning, afternoon, evening and night. It is seen from the analysis that afternoon electric field strength levels are significantly higher than night electric field strength levels. At the final stage of the study, the change in daily electric field strength levels is modelled using smoothed and non-smoothed data, an increment in modelling accuracy was achieved with smoothing.

Keywords

Electromagnetic field;
Electric field strength
(E); Long term E
measurement; Base
station; PMM-8053.

1. Giriş

Elektromanyetik dalgalar (EMD) doğal ve insan yapımı pek çok kaynak tarafından yayılmakta ve etrafımızda elektromanyetik kirliliğe neden olmaktadır. İletim hatları, Radyo/TV vericileri, kablosuz sistemler, baz istasyonları ve tüm elektrikli ev aletleri insan yapımı birer EMD kaynağıdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte kablosuz sistemler her geçen gün günlük hayatımızda daha fazla yer almaya başlamıştır. Kablosuz sistemler birbirleriyle EMD'lar vasıtasıyla iletişim kurarlar ve etraflarında elektromanyetik alan (EMA) oluştururlar. Kablosuz sistemlerden olan ve yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelen hücreli sistemlerin temel yapıtaşları baz istasyonları olup kullanıcılar baz istasyonları yardımıyla birbirleriyle haberleşirler. Hücreli sistem kullanıcılarının her yerden haberleşme istemeleri, her bir baz istasyonunun sınırlı bir coğrafi bölgeye hizmet verebilmesi, daha yüksek veri hızı gerektiren multimedya servislerine olan taleplerin artması hücreli sistem operatörlerini daha fazla baz istasyonu kurmaya itmektedir. Her bir baz istasyonunun birer EMA kaynağı olması, artan baz istasyonları ile birlikte maruz kalınan EMA seviyelerinin de artmasına neden olmaktadır. Her ne kadar baz istasyonları iyonize etmeyen 300GHz'in altındaki frekansları kullansalar da, olası sağlık etkilerini incelemek için yaydıkları EMA seviyelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi insan sağlığı için elzemdir. Dolayısıyla baz istasyonları ve kablosuz sistemlerden kaynaklı EMA seviyelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, standartlara ve limit değerlere uygunluğunun kontrol edilmesi insan sağlığı açısından gerekli önlemleri önceden alabilmek adına büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle özellikle baz istasyonu kaynaklı EMA ölçümü ve değerlendirilmesi adına literatürde yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir. (Baltrenas and Buckus 2013)'da yaşam alanlarında bulunan baz istasyonu antenlerinin yakın alan ve uzak alan bölgelerinde elektrik alan

şiddeti, manyetik alan şiddeti ve elektromanyetik güç yoğunluğu değerleri ölçülmüş ve değerlendirmeler yapılmıştır. (Genç et al. 2010)'da Ankara şehir merkezinde elektrik alan şiddetini ve TV/Radyo vericileri ile baz istasyonlarının toplam elektrik alan şiddetine olan katkılarını belirlemek için okul, hastane, yurt, konut ve gökdelen çevrelerinde olmak üzere 500 noktada ölçüm alınmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. (Karadağ et al. 2016)'da Malatya şehir merkezinde GSM/UMTS baz istasyonlarından kaynaklı uzun süreli elektrik alan şiddeti ölçümleri ve analizleri yapılmıştır. (Koprivica et al. 2016)'da 276 konumda ve 664 baz istasyonu etrafında elektrik alan şiddeti ölçümleri alınmış, ICNIRP ve Sırbistan'a ait limit değerler ile değerlendirmeler yapılmıştır. (Kurnaz, 2018)'de Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Tıp Fakültesi Hastanesinde 2013-2015 yılları arasında 60 farklı konumda 840 kısa süreli elektrik alan şiddeti ve iki uzun süreli (24 saat) elektrik alan şiddeti ölçümleri alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. (Martens et al. 2016)'da 2013-2014 yılları arasında Hollanda'nın Utrecht şehrine yakın 5 kasabada 9563 rasgele seçilen adreste ve 276 hanede baz istasyonlarından kaynaklı elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. (Miclaus and Bechet 2007)'da baz istasyonu etrafında elektromanyetik güç yoğunluğu ölçümleri yapılmış ve güç yoğunluğu tahmini üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. (Mousa, 2011)'da Nablus şehrinde baz istasyonları çevresinde 200kHz-3GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğu ölçümleri yapılmıştır. (Sagar et al. 2016)'da İsviçre'de 2014 yılında 51 farklı mikro ortamda, 5 farklı şehir merkezinde, 5 merkezi yerleşim alanında, 5 merkezi olmayan yerleşim alanında, 15 kırsal bölgede, 15 kırsal yaşam merkezinde ve 6 sanayi bölgesinde radyo frekansı elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. (Seyfi, 2013)'de bir hafta boyunca seçilen bir apartman dairesinde 4sn Aralıklarla 100 kHz-

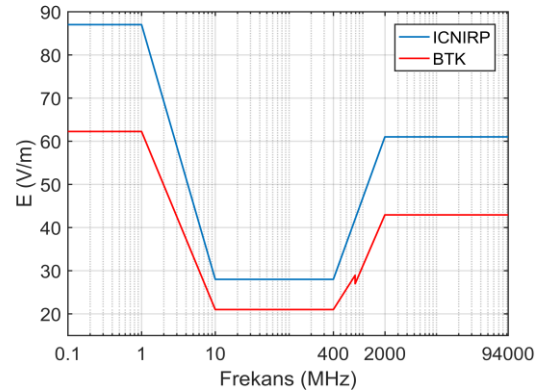
3GHz frekans bandında elektrik alan şiddeti değerleri kaydedilmiş ve istatistiksel analizler yapılmıştır.(Urbinello et al. 2014)'de dört farklı Avrupa şehrinde (Amsterdam, Basel, Bürüksel ve Gent) 2011-2012 yılları arasında 12 farklı günde radyo frekansı elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmış ve ICNIRP limit değerler ile karşılaştırmalar yapılmıştır.(Çerezci et al. 20150)'de Bursa'nın Nilüfer ilçesinde 3 yıl süresince (2010-2012 yılları arasında) GSM verici antenlerine yakın konumlarda elektromanyetik alan ölçümleri bina içi ve bina dışı ortamlar için yapılmış ve sonuçlar ICNIRP ve BTK limit değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Baz istasyonu kaynaklı EMA ölçümleri Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyonlardan Korunma Komisyonu (the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) ve Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) standartları gereği bir konumda 6 dakika ortalamalar üzerinden yapılmaktadır. Oysaki baz istasyonunu kullanan kullanıcı sayısındaki gün içindeki değişime bağlı baz istasyonu kaynaklı EMA gün içinde değişkenlik gösterebilmektedir. Dolayısıyla baz istasyonu kaynaklı uzun süreli EMA maruziyetinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada baz istasyonunu doğrudan gören iki farklı ev ortamında 24 saat süresince EMA ölçümleri alınmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Ölçümlerde 100kHz-3GHz arasındaki ortamdaki toplam EMA'yı ölçebilen PMM-8053 EMA ölçer kullanılmış ve elektrik alan şiddeti (E) kayıt altına alınmıştır. Gün boyunca iki farklı ortamında kaydedilen elektrik alan şiddetinin değişimi incelenmiş ve ortamdaki elektrik alan şiddetinin iyi ifade edebilmek için yumuşatma algoritması başarımları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

EMA'nın insan sağlığına olası etkileri üzerine ulusal ve uluslararası standartlar ve limit değerler mevcuttur. Dünya sağlık örgütü (World Health Organization, WHO) tarafından da tanınan ICNIRP tarafından belirlenen limitler (ICNIRP, 1998) yaygın olarak pekçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Her

ülkenin kendine ait standartları ve limit değerleri vardır. ABD ve bazı Avrupa ülkeleri ICNIRP tarafından belirlenen limit değerleri kullanırken, İtalya ve İsviçre gibi bazı Avrupa ülkeleri ICNIRP limitlerinin 1/10'unu kullanmaktadır. Türkiye'de EMA üzerine yasal düzenlemeler BTK tarafından yapılmakta olup hali hazırda ICNIRP değerlerin %70'i limit değerler olarak belirlenmiştir (BTK, 2018). ICNIRP ve BTK tarafından belirlenen elektrik alan şiddeti için limit değerlerin frekansa bağlı değişimleri (ICNIRP, 1998; BTK, 2018) Şekil 1'de verilmiştir. BTK ve ICNIRP tarafından verilen limit değerler 6 dakikalık ortalamadır. BTK'ya göre elektrik alan şiddeti için limit değerler 900MHz frekansını kullanan baz istasyonları için 28.80 V/m; 1800MHz frekansını kullanan baz istasyonları için 40.72V/m; 2100MHz ve 2600MHz frekans bandını kullanan baz istasyonları için 42.93 V/m'dir. Türkiye'de üç farklı hücresel sistem operatörüne faaliyet göstermekte olup, bunlar 2G (second generation), 3G (third generation) ve 4G (fourth generation) sistemlerini kullanmaktadırlar.



Şekil 1. BTK ve ICNIRP için limit değerlerinin frekansla değişimi

Bu çalışmada EMA seviyesinin gün içindeki değişimini incelemek için baz istasyonunu doğrudan gören iki farklı ev ortamında 24 saat süresince EMA ölçümleri alınmıştır. Ölçümler PMM-8053 EMA ölçer ile alınmıştır. PMM 8053, EP-330 izotropik elektrik alan probu (kalibrasyon no: 16040472, kalibrasyon tarihi: 04/2016, geçerlilik süresi: 04/2018) ile 100 kHz ile 3GHz arasındaki geniş banttaki (FM, TV, GSM, UMTS, LTE ve WLAN servislerini içine alan frekans bandı) toplam EMA'yı ölçebilmektedir. Algılayıcı ölçüm aralığı 0.3 V/m - 300 V/m olup, elektrik alan şiddeti (V/m), manyetik

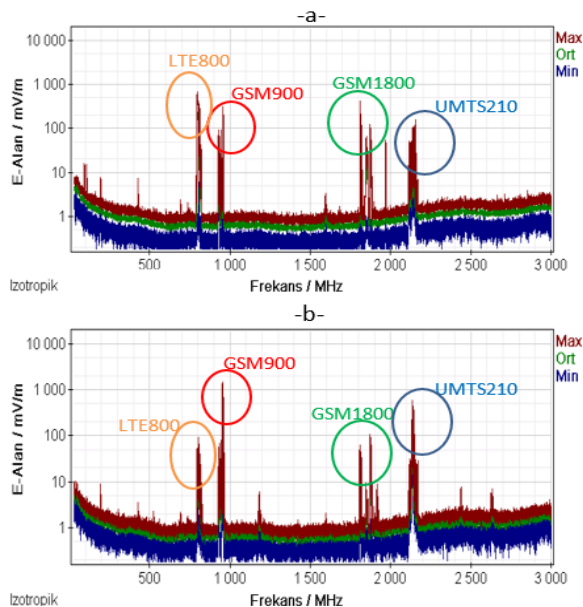
alan şiddeti (A/m), güç akış yoğunluğu (W/m²), bunların zamansal ve konumsal ortalamasını, maksimum ve minimum değerlerini ölçülebilmektedir (Int Kyn. 1).

Ölçümlerde elektrik alan şiddetideğeri her 5sn aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Ölçüm konumları Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2a’da verilen ölçüm konumu K1, Şekil 2b’de verilen konum ise K2 olarak adlandırılmıştır. K1 için ölçüm alınan konum ile baz istasyonları arası mesafe yaklaşık 20m iken K2 için ise bu değer yaklaşık 15m’dir. Her iki ölçüm konumunda baz istasyonu ile PMM-8053 arasında doğrudan görüş (line of sight, LOS) söz konusudur.



Şekil 2. Uzun süreli elektrik alan şiddeti ölçüm konumları a)K1, b)K2

K1 ve K2 ortamındaki başlıca EMA kaynaklarını belirlemek için Narda SRM-3006 bant seçici EMA ölçer kullanılarak (Int Kyn. 2) frekans spektrumunda yerleşen servisler belirlenmiş ve Şekil 3’de verilmiştir.

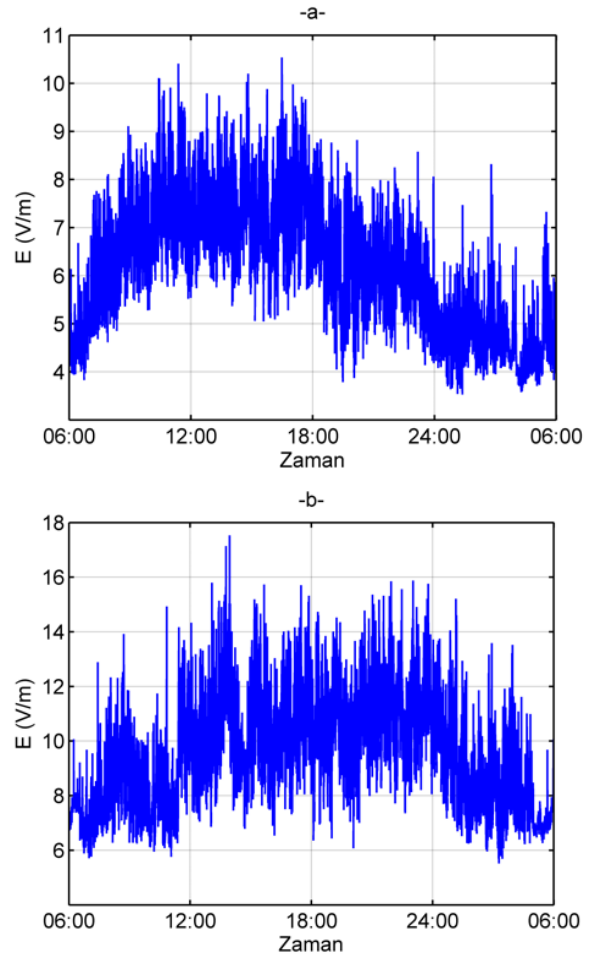


Şekil 3. a)K1, b)K2 için frekans spektrumu ve servislerin yerleşimleri

K1 için frekans spektrumu ve servislerin yerleşimi Şekil 3a’da K2 için ise Şekil 3b’de verilmiştir. Şekil 3a ve 3b’den de görüldüğü gibi K1 ve K2 ortamında temel EMA kaynakları 800 MHz (LTE800), 900 MHz (GSM900), 1800 MHz (GSM1800) ve 2100 MHz (UMTS2100) frekans bantlarını kullanan baz istasyonlarıdır. 24 saat süreli elektrik alan şiddeti ölçümleri K1 için Eylül 2017’de alınırken K2 için ise Mayıs 2017’de alınmıştır.

3. Bulgular

K1 ve K2’de 24 saat süresince kaydedilen elektrik alan şiddetinin değişimi sırasıyla Şekil 4a ve Şekil 4b’de verilmiştir.



Şekil 4. a)K1, b)K2 için elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişimi

Şekil 4’den de görüldüğü gibi ev ortamında maruz kalınan elektrik alan şiddeti gün içinde değişkenlik

göstermektedir. Bunun temel nedeni baz istasyonunu kullanan kullanıcı sayısına bağlı olarak ölçülen elektrik alan şiddeti değerinin de değişmesidir. Baz istasyonuna erişen kullanıcı sayısı gün içinde çok daha fazla olduğu için ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri de bir o kadar yüksektir. K1 için ölçülen en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 10.54 V/m, 24 saatlik ortalama elektrik alan şiddeti değeri 6.13 V/m ve elektrik alan şiddetinin standart sapması 1.34 V/m'dir. K2 için ise bu değerler sırasıyla 17.53 V/m, 9.45 V/m ve 2.02 V/m'dir. K1 ve K2'de ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri arasındaki farklılığın temel nedeni; baz istasyonlarının çıkış güçlerinin, frekanslarının, kazançlarının, istasyon/sektör sayılarının ve hizmet verdikleri kullanıcı sayılarının farklı olmasıdır.

Elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişimini daha ayrıntılı incelemek için gün sabah (06:00-12:00), öğlen (12:00-18:00), akşam (18:00-24:00) ve gece (24:00-06:00) olmak üzere dört eşit parçaya ayrılmıştır. K1 ve K2 için gün içindeki elektrik alan şiddetine ait değerlendirmeler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. K1 ve K2 için elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişim istatistikleri

| | | Elektrik alan şiddeti (V/m) | | | | |
|----|------|-----------------------------|--------------|-------------|------|---------|
| | | Sabah | Öğlen | Akşam | Gece | Değişim |
| K1 | Maks | 10.41 | 10.54 | 8.84 | 8.32 | %27 |
| | Ort. | 6.36 | 7.25 | 6.20 | 4.60 | %58 |
| | Std. | 1.24 | 0.93 | 0.91 | 0.63 | %97 |
| K2 | Maks | 14.93 | 17.53 | 15.88 | 15.2 | %17 |
| | Ort. | 8.16 | 10.47 | 10.8 | 8.35 | %32 |
| | Std. | 1.53 | 1.76 | 1.64 | 1.70 | %15 |

K1 için en yüksek ortalamalı elektrik alan şiddeti değeri 7.25 V/m olarak öğlen saatlerinde ölçülürken; gece bu değer 4.60 V/m'e düşmüştür. K1 için ev ortamında gündüz maruz kalınan elektrik alan şiddeti seviyesi geceye oranla %58 daha fazladır. K2 için ise en yüksek ortalamalı elektrik alan şiddeti değeri (10.8 V/m) akşam saatlerinde iken en düşük ortalamalı elektrik alan şiddeti değeri (8.16 V/m) sabah saatlerindedir. K2 için sabah

saatleri ile akşam saatleri arasındaki elektrik alan şiddeti arasındaki değişim %32'dir.

Çalışmanın ikinci aşamasında K1 ve K2 için ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin gün içindeki değişimi modellenmiştir. Bunun için ilk olarak 5sn aralıklarla kaydedilen elektrik alan şiddeti değerleri BTK ve ICNIRP standartları doğrultusunda 6 dakikalık ortalamalar alınarak güncellenmiştir. Gün içindeki elektrik alan şiddetinin değişimini belirlemek için, ham elektrik alan şiddeti verisi ile yumuşatma (smoothing) işleminden geçirilmiş elektrik alan şiddeti verisinden hangisini kullanmanın daha doğru model oluşturacağı incelenmiştir. Yumuşatma işleminin temel kullanım amacı; elektrik alan şiddeti değerlerindeki ani değişimleri gidermek ve daha doğru bir model üretebilmek adına elektrik alan şiddeti verisini alçak geçiren süzgeçten geçirmektir. Elektrik alan şiddeti verisini yumuşatmak için MATLAB "*smoothing*" komutu kullanılmıştır (Int Kyn. 3; Int Kyn. 4). "*smoothing*" komutunun genel kullanımı (1) eşitliğinde verildiği gibidir.

$$yy = \text{smooth}(y, \text{span}, \text{metot}) \quad (1)$$

Burada "*y*" yumuşatma işlemine uğrayacak olan veriyi, "*yy*" yumuşatılmış veriyi, "*metot*" kullanılacak yumuşatma filtresinin özelliğini, "*span*" ise kullanılacak metoda göre yumuşatma işlemi için kullanılacak örnek sayısı veya örnek sayısının toplam örnek sayısına oranıdır. Kullanılan 6 farklı yumuşatma metodu ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir (Int Kyn. 4).

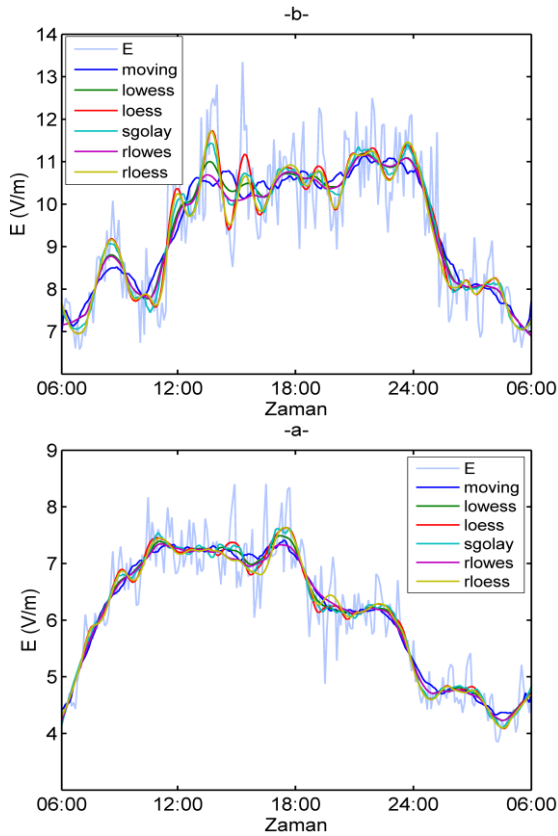
Çizelge 2. Yumuşatma için kullanılan metodlar

| Metod | Açıklaması |
|--------|---|
| moving | Hareketli ortalamalar yaklaşımı |
| lowess | Ağırlıklı doğrusal en küçük kareler ve birinci derece polinom yaklaşımı |
| loess | Ağırlıklı doğrusal en küçük kareler ve ikinci derece polinom yaklaşımı |
| sgolay | Savitzky-Golay filtre yaklaşımı. |
| rloess | "lowess" metodunun güçlendirilmiş versiyonu |
| rloess | "loess" metodunun güçlendirilmiş versiyonu |

K1 ve K2 verisine 6 farklı metotuygulanarak elektrik alan şiddeti değerleri yumuşatılmış ve K1 için yumuşatma sonuçları Şekil 5a'da K2 için ise Şekil 5b'de verilmiştir. Her iki şekilde de "span"değeri 6 metot içinde 0.1 olarak seçilmiştir. Metot başarımları normalize hata karelerinin ortalamasının karekökü (normalized root mean square error) cinsinden (2) eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$NHKOK = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - \hat{E}_i)^2}}{\max(E) - \min(E)} \quad (2)$$

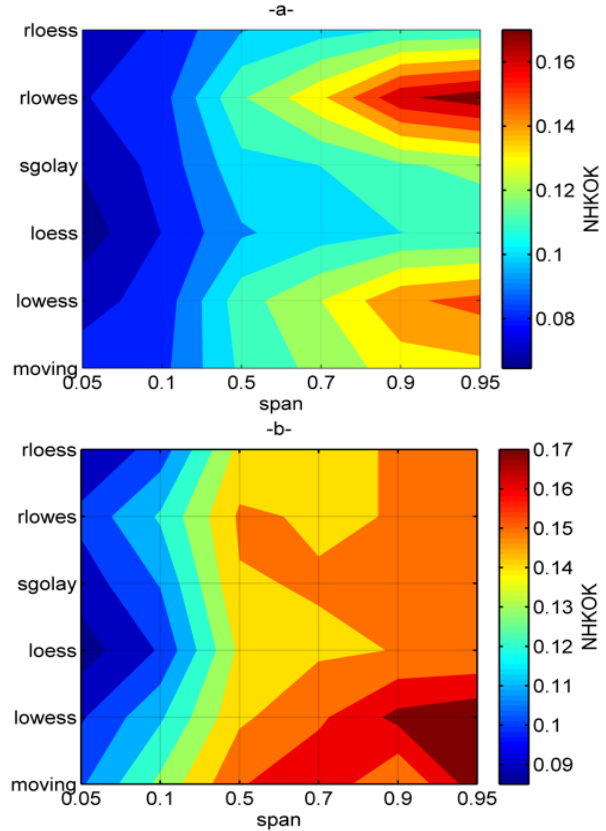
Burada E_i gerçek E değerini, \hat{E}_i tahmin edilen elektrik alan şiddeti değerini, i ise ölçüm zamanını göstermektedir.



Şekil 5. a)K1, b)K2 için yumuşatma metodu başarımları

K1 için en düşük normalize hata karelerinin ortalamasının karekökü (NHKOK) değeri 0.0802 olarak "loess" metodu için elde edilirken; K2 için de yine "loess"metodu ile 0.1011 olarak en düşük

NHKOK değerini vermiştir. Farklı span değerleri için benzer değerlendirmeler yapılmış ve sonuçlar Şekil 6a ve 6b'de verilmiştir. Şekil 6a ve 6b detaylı bir biçimde incelendiğinde tüm span değerleri için en düşük NHKOK değeri "loess" metoduyla elde edilmiştir. "loess"metodundan sonra ise en düşük NHKOK değerini veren metot "rloess"dir.



Şekil 6. a)K1, b)K2 için span değerinin yumuşatma başarımına etkisi

Çalışmanın son aşamasında ise K1 ve K2 için 0.1 span değerli "loess" kullanılarak yumuşatma yapılmadan ve yapıldıktan sonraki elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişimleri modellenmiştir. Modeller MATLAB ortamında eğri uydurma yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Gerek sadelik gerekse doğruluk kriterleri göz önünde bulundurulduğunda karşılaştırmalar 3. dereceden polinom yaklaşımıyla yapılmıştır. 3. dereceden polinom ifadesi (3) eşitliğinde verildiği gibidir.

$$\hat{E} = p_1 X^3 + p_2 X^2 + p_3 X + p_4 \quad (3)$$

Burada p_i 'ler polinom katsayılarıdır. X ise zaman indeksi olup (4) eşitliğindeki gibi tanımlanır.

$$X = 1 + \frac{\text{zaman} - 06:00}{6} \quad (4)$$

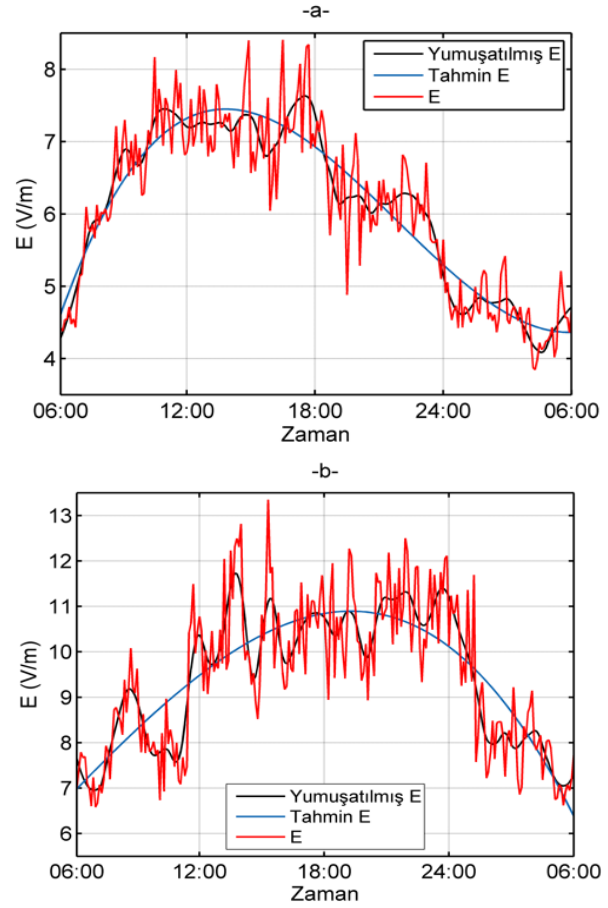
K1 ve K2 için yumuşatma yapılmadan ve yapıldığı durumdaki polinom katsayıları ve model doğrulukları (R-square türünden) Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde gerek K1 gerekse K2 için yumuşatılmış elektrik alan şiddeti verileri kullanıldığında elde edilen model başarımı yumuşatılma yapılmayan duruma göre çok daha iyidir. Yumuşatma yapıldıktan sonra K1 için model doğruluğundaki artış %10'lar seviyesinde iken K2 için ise bu değer %16'lara ulaşabilmektedir.

Çizelge 3. K1 ve K2 için yumuşatma var ve yok durumları için model parametreleri

| K1 | Ham elektrik alan şiddeti verisi | Yumuşatılmış elektrik alan şiddeti verisi |
|-----------------|----------------------------------|---|
| p_1 | 1.519×10^{-6} | 1.501×10^{-6} |
| p_2 | -0.0007197 | -0.0007128 |
| p_3 | 0.08472 | 0.08395 |
| p_4 | 4.502 | 4.526 |
| R-square | 0.836 | 0.932 |

| K2 | Ham elektrik alan şiddeti verisi | Yumuşatılmış elektrik alan şiddeti verisi |
|-----------------|----------------------------------|---|
| p_1 | -7.138×10^{-7} | -6.99×10^{-7} |
| p_2 | -3.413×10^{-5} | -3.898×10^{-5} |
| p_3 | 0.04688 | 0.04733 |
| p_4 | 6.944 | 6.933 |
| R-square | 0.6119 | 0.7748 |

Ham elektrik alan şiddeti verisi, yumuşatma işlemi yapılmadan tahmin edilen elektrik alan şiddeti verisi ve yumuşatma işlemi yapıldıktan sonra tahmin edilen elektrik alan şiddetinin gün içinde değişim modelleri ise Şekil 7a ve 7b'de gösterilmiştir. Gerek Çizelge 3 gerekse Şekil 7 birlikte değerlendirildiğinde gün içinde elektrik alan şiddetinin değişiminin daha iyi modellenebilmesi için ham elektrik alan şiddeti verisi yumuşatma işleminden geçirilmesi gerektiği görülmüştür.



Şekil 7. a)K1, b)K2 için yumuşatma var ve yokken ki elektrik alan şiddeti modelleri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, baz istasyonunu doğrudan gören iki farklı ev ortamında 24 saat süresince maruz kalınan elektrik alan şiddetinin değişimi incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarından ortamda ölçülen elektrik alan şiddetinin baz istasyonu kullanım yoğunluğuna bağlı olarak gün içerisinde çok fazla değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti 17.53 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti 9.54 V/m olarak kaydedilmiştir. Her ne kadar ölçülen bu değerler BTK ve ICNIRP tarafından belirlenen limit değerlerin altında olsa da daha düşük limit değerleri kullanan ülkeler için (örn. İsviçre, İtalya) yüksek sayılır. Ölçüm konumları için gün içindeki elektrik alan şiddetinin değişimi incelendiğinde; gündüz ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri gece saatlerine oranla %58 daha fazla olabilmektedir. Çalışmanın son aşamasında elektrik alan şiddetinin gün içindeki değişimini ifade edebilmek için ham elektrik alan şiddeti verisine

farklı yumuşatma işlemleri uygulanmış ve bir model önerilmiştir. Sonuçlardan, elektrik alan şiddeti verisine yumuşatma işlemi uygulandığında oluşturulan modelin doğruluğunda %16'ya varan bir artış gözlenmiştir.

5. Kaynaklar

Baltrenas, P., Buckus, R., 2013. Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas. *Measurement*, **46(10)**, 3942-3949.

BTK, 2018. Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. 17 Nisan 2018 tarihli Resmi Gazete, Sayı no.30394.

Çerezci O, Kanberoğlu B, Yener ŞÇ., 2015. Analysis on trending electromagnetic exposure levels at homes and proximity next to base stations along three years in a city. *J Environ Eng Landsc Manag*.**23(1)**:71-81.

Genç, O., Bayrak, M., Yıldız, E., 2010. Analysis of the effects of GSM bands to the electromagnetic pollution in the RF spectrum. *Prog. Electromagn. Res. PIER*, **101**, 17-32.

ICNIRP, 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics*, **74(4)**, 494-522.

Karadag, T., Yüceer, M., Abbasov, T., 2016. A Large-Scale Measurement, Analysis and Modelling of Electromagnetic Radiation Levels in the Vicinity of GSM/UMTS Base Stations in an Urban Area. *Radiation Protection Dosimetry*, **168(1)**, 134-147.

Koprivica, M., Slavkovic, V., Neskovic, N., Neskovic, A., 2016. Statistical Analysis of Electromagnetic Radiation Measurements in the Vicinity of GSM/UMTS Base Station Installed on Buildings in Serbia. *Radiation Protection Dosimetry*, **168(4)**, 489-502.

Kurnaz, Ç., 2018. An Empirical Modelling of Electromagnetic Pollution on an University Campus. *The Applied Computational Electromagnetic Society Journal*, **33(1)**, 111-114.

Martens, A.L., Slottje, P., Meima, M.Y., Beekhuizen, J., Timmermans, D., Kromhout, H., Smid, T., Vermeulen, R.C., 2016. Residential exposure to RF-EMF from mobile phone base stations: Model predictions versus personal and home measurements. *Sci Total Environ*.**550**, 987-993.

Miclaus, S., Bechet, P., 2007. Estimated and Measured values of the Radiofrequency Radiation Power Density around Cellular Base Stations. *Environment Physics*, **52(3)**, 429-440.

Mousa, A., 2011. Electromagnetic radiation measurements and safety issues of some cellular base stations in Nablus. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, **4(1)**, 35-42.

Sagar, S., Struchen, B., Finta, V., Eeftens, M., Rössli, M., 2016. Use of portable exposimeters to monitor radio frequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. *Environ. Res.*, **150**, 289-298.

Seyfi, L., 2013. Measurement of electromagnetic radiation with respect to the hours and days of a week at 100kHz-3GHz frequency band in a Turkish dwelling. *Measurement*, **46(9)**, 3002-3009.

Urbiniello, D., Joseph, W., Verloock, L., Martens, L., Rössli, M., 2014. Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities. *Environ. Res.*, **134**, 134-142.

İnternet kaynakları

1- www.pmm.eu/includes/sendfile.asp?nomep=Field_Probes (22, 10, 2018)

2- http://www.pmm.eu/includes/sendfile.asp?nomep=Field_Probes, (22,10,2018)

3- <https://www.mathworks.com/help/curvefit/smoothing-data.html>, (22, 10, 2018)

4- <https://www.mathworks.com/help/curvefit/smooth.html>, (22, 12, 2018)