



## Bir Ortamdaki Elektrik Alan Şiddetinin Zaman Serisi Analizi ile Belirlenmesi

### Determination of Electric Field Strength Level in a Medium using Time Series Analysis

Begüm KORUNUR ENGİZ<sup>1</sup>, Çetin KURNAZ<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Kurupelit, SAMSUN

Başvuru/Received: 08/01/2018

Kabul/Accepted: 06/06/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/06/2018

#### Öz

Teknolojik gelişmelerle birlikte hayatımızın vazgeçilmez unsurları haline gelen kablosuz sistemlerin yoğun kullanımı nedeniyle yaşam alanlarımızdaki Baz istasyonu sayısı ve buna bağlı olarak maruz kalınan elektromanyetik radyasyon (EMR) seviyeleri de artmıştır. Maruz kalınan EMR seviyelerinin doğru bir biçimde ölçülmesi, değerlendirilmesi ve belirlenen limit değerlere uygunluğunun kontrol edilmesi insan/canlı sağlığı açısından önemli hale gelmiştir. Ayrıca EMR kaynaklarının her geçen gün artması nedeniyle, EMR seviyelerinin gelecek değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak modelin geliştirilmesi elzemdir. Bu nedenle bu çalışmada, maruz kalınan EMR seviyesini belirlemek üzere insanların yoğun olarak bulunduğu bir alışveriş merkezinde bir hafta süresince 24 saatlik elektrik alan şiddeti (E) ölçümleri gerçekleştirilmiş ve istatistiksel özellikleri belirlenmiştir. Ardından ölçüm sonuçlarına zaman serisi analizi uygulanarak ortamdaki E seviyesinin değişimi hareketli ortalamalar ile modellenmiş ve bir gün sonraki E değeri bu modele dayanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlardan tahmin edilen E değerinin gerçeğe oldukça yakın olduğu görülmüştür. Önerilen modelin kullanımı ile bir ortamdaki E'nin gelecekte alabileceği değerler tahmin edilebilir ve bu değerler benzer koşullardaki ortamlar için de kullanılabilir.

#### Anahtar Kelimeler

“Elektromanyetik kirlilik, Elektrik alan şiddeti (E), Uzun süreli E ölçümü, Baz istasyonu, Zaman serisi analizi”

#### Abstract

In parallel with technological developments wireless systems have become indispensable parts our daily life, and dense use of these systems the number of base stations in environment and thus the exposed electromagnetic radiation (EMR) levels has also increased. Accurate measurement, evaluation and control of compliance with established limit values of the exposed EMR levels has become more important in terms of human/vital health. In addition, due to the increase in EMR resources, it is essential to develop the model that will be used to determine the future values of the EMR levels. Therefore, in this study, 24 hour electric field strength (E) measurements were carried out in a shopping mall in order to determine the level of EMR exposure and their statistical properties were determined. Then the time series analysis is applied to the measurement results and the change of the E level in the environment is modeled by moving averages and the E value one day later is estimated based on this model. It is seen that the estimated E value is very close to the real values. With the use of the proposed model, the future values of E in an environment can be estimated and these values can be used for environments with similar conditions.

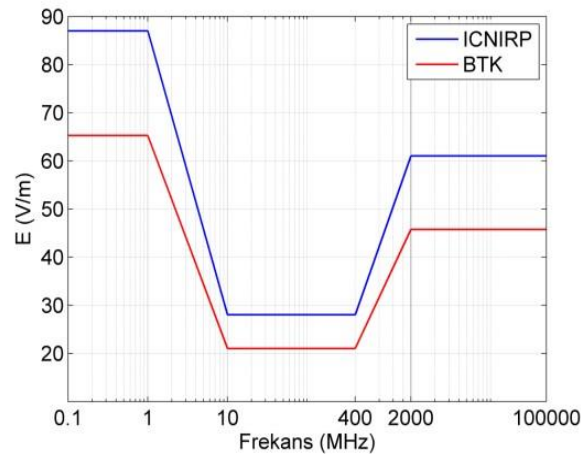
#### Key Words

“Electromagnetic pollution, Electric field strength (E), Long term E measurements, Base station, Time series analysis”

## 1. GİRİŞ

Bilgiden eğlenceye kadar farklı içeriklere her noktada erişime ve mobiliteye olan talep nedeniyle günümüzde gezgin iletişim sistemleri hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Kullanıcıların bu taleplerini karşılayabilmek için tek bir cihazda iletişim ve diğer içerik ihtiyaçlarını karşılayacak cihazlar üretilmiş ve bu sayede özellikle cep telefonları sadece ses iletimi için kullanılan sıradan cihazlar olmaktan çıkıp hayatımızın her anında kullandığımız akıllı telefonlara dönüşmüştür. Ayrıca bu cihazların sosyal ağ, video, oyun vb. kullanımına olanak tanımaları özellikle gençler tarafından daha çok kullanılmalarına neden olmuştur. Yaşam alanlarımızda halihazırda bulunan radyo/televizyon vericileri, yüksek gerilim hatları, trafolar, elektrikli ev aletleri ve tıbbi cihazların tümü elektromanyetik dalgalar yaymakta; kablosuz sistemlerin ve dolayısıyla Baz istasyonlarının bu kaynaklar arasına katılmasıyla da maruz kalınan elektromanyetik radyasyon (EMR) seviyeleri de her geçen gün artmaktadır. Baz istasyonlarının kullanımındaki bu belirgin artış nedeniyle maruz kalınan EMR seviyelerinin yaratabileceği olası sağlık sorunları ise güncel araştırma konularından biri haline gelmiştir.

EMR'nin yaratabileceği olası etkilerden korunmak için belirlenen standartlar ve güvenlik amaçlı limit değerler mevcuttur. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (The World Health Organization, WHO) tarafından da tanınan Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) tarafından genel halk sağlığı için günde 24 saat maruz kalındığı kabulüyle belirlenmiştir (ICNIRP, 1998). Elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerleri belirlemiştir. Türkiye'de EMR üzerine yasal düzenlemeler Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yapılmakta olup BTK, ICNIRP'nin belirlediği limit değerlerin %75'ini esas alarak gerekli yönetmelikleri oluşturmaktadır (BTK, 2015). (ICNIRP, 1998) ve (BTK, 2015)'de yer alan ortamın toplam elektrik alanı için olan limit değerler Şekil 1'de verilmiştir. BTK'ya göre limit değerler GSM 900 MHz ile çalışan Baz istasyonları için 30.9 (V/m), 1800 MHz ile çalışan Baz istasyonları için 43.7 (V/m), 3G (2100 MHz), 4G (2600 MHz), ve Wi-Fi cihazlar (2.45 GHz) için ise 45.75 (V/m)'dir.



Şekil 1. BTK ve ICNIRP için limit değerlerinin frekansla değişimi

EMR'nin yaratabileceği olası sağlık sorunlarının önceden belirlenebilmesi için Baz istasyonlarının yoğun kullanıldığı nüfusun fazla olduğu bölgelerde EMR'nin ölçülmesi ve değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle Baz istasyonları kaynaklı (Baltrenas ve Buckus, 2013; Engiz ve Kurnaz, 2016; Karadag vd., 2016; Koprivica vd.2016; Kurnaz, 2016; Kurnaz ve Bozkurt, 2016; Kurnaz ve Engiz, 2016; Martens vd., 2016; Seyfi, 2013; Urbinello vd., 2014) EMR'nin ölçülmesi ve değerlendirmesi üzerine literatürde yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Samsun ilinin en büyük Türkiye'nin sayılı büyük alışveriş ve yaşam merkezinde ziyaretçilerin ve personelin maruz kaldığı elektrik alan seviyesini (E) belirlemek üzere 100 kHz- 3GHz bantları arasında uzun süreli (long term) E ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 10/02/2016 ve 16/02/2016 tarihleri arasında PMM-8053 EMR metre (PMM, 2018) kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının standartlara uygunluğu kontrol edilmiş ve istatistiksel özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte yapılan ölçümlerin ve değerlendirmelerin geçerliğini genişletmek için istatistiksel modellerin geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu nedenle zaman serisi analizi uygulanarak ortamdaki E değerini belirlemek üzere bir hareketli ortalamalar (moving average) modeli önerilmiştir.

## 2. ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİNİN ÖLÇÜLMESİ

Bu çalışmada, 100 kHz–3GHz bandı içindeki toplam E, 10/02/2016 - 16/02/2016 tarihleri arasında, 24 saat süresince, Samsun'un ve Karadeniz Bölgesinin en büyük alışveriş merkezinde EP-330 izotropik elektrik alan problu PMM–8053 EMR metre (PMM, 2018) kullanılarak ölçülmüştür. Alışveriş merkezine ve PMM-8053 kullanılarak ölçümlerin alınması sırasıyla Şekil 1.a ve b'de verilmiştir.

-a-



-b-

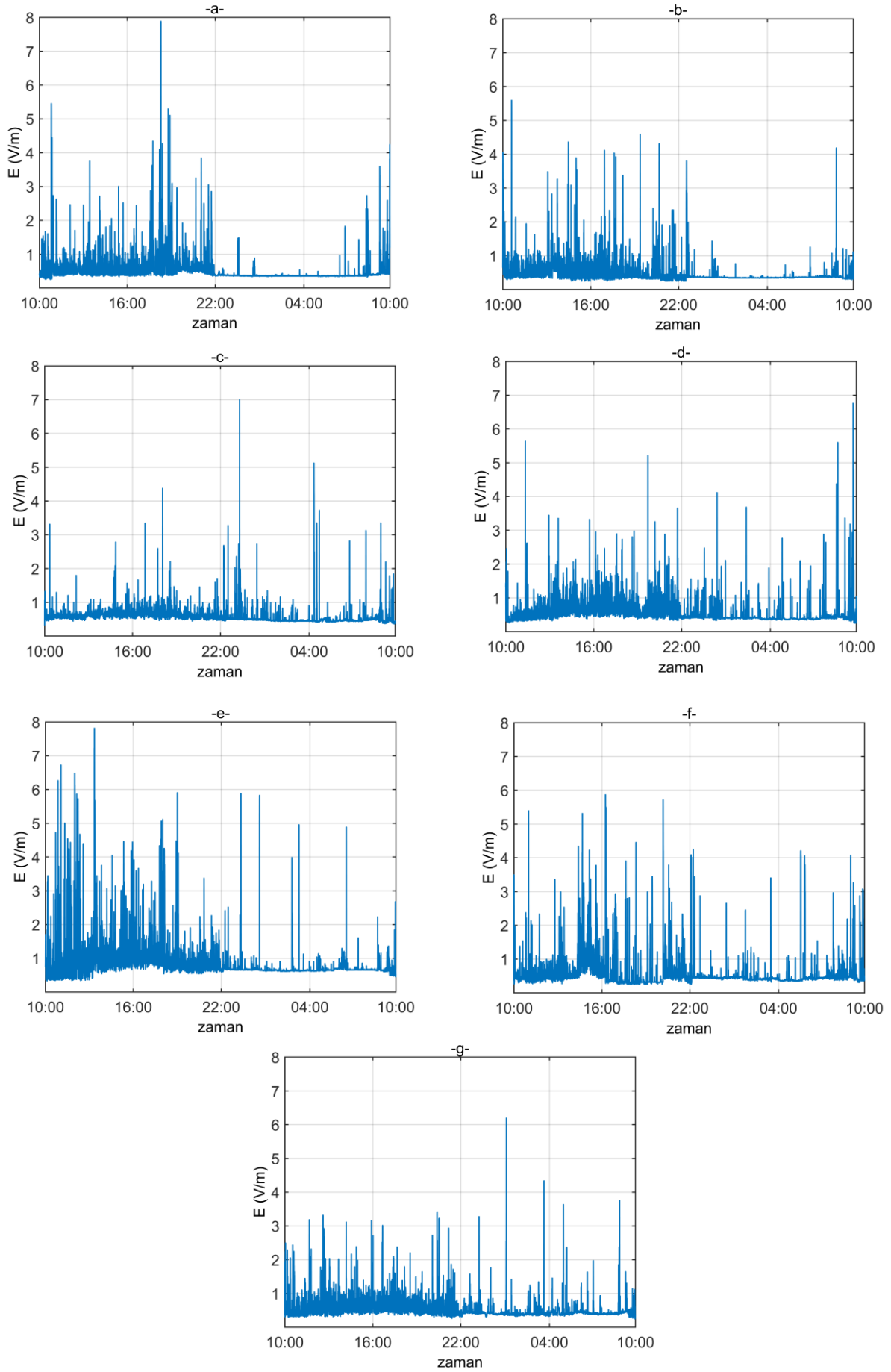


Şekil 2. a) Alışveriş merkezi b) PMM-8053 ile ölçümlerin alınması

Alışveriş merkezi 80.000 m<sup>2</sup> alana kurulmuştur ve içerisinde 160'dan fazla mağaza vardır. Haftanın 7 günü 10:00-22:00 arasında ziyaretçilere açık olan alışveriş merkezinde, personel giriş ve çıkış saatleri değişiklik göstermektedir. Ayda ortalama bir milyon kişinin ziyaret ettiği alışveriş merkezinin, hafta sonları ziyaretçi sayısı yüz bine ulaşmaktadır. Ayrıca, konser, kermes, tanıtım vs. gibi organizasyonlar da alışveriş merkezi içinde gerçekleştirilebilmektedir. Birçoğu çatıda olmak üzere alışveriş merkezinin yakınlarında çok sayıda Baz istasyonu ve alışveriş merkezi içinde Wi-Fi erişim noktası vardır. 10/02/2016 ve 16/02/2016 tarihleri arasında, bir hafta boyunca ve 24 saat süresince 4 saniyelik örnekleme periyodu ile yapılan ölçümler her gün sabah saat 10'da başlamış ve diğer gün sabah saat 9:59'da sonlandırılmıştır.

## 3. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Alışveriş merkezindeki ziyaretçilerin ve personelin maruz kaldığı E seviyesini belirlemek ve bu ölçümleri kullanarak E seviyesinin gelecekte alacağı değerleri belirlemek adına bir hafta boyunca yapılan 24 saatlik ölçümlerin sonuçları Çarşamba, Perşembe, Cuma, Cumartesi, Pazar, Pazartesi ve Salı günleri için sırasıyla Şekil 3.a, b, c, d, e, f ve g'de verilmiştir.



Şekil 3. a) Çarşamba, b) Perşembe, c) Cuma, d) Cumartesi, e) Pazar, f) Pazartesi, g) Salı günlerinde E seviyesinin değişimi

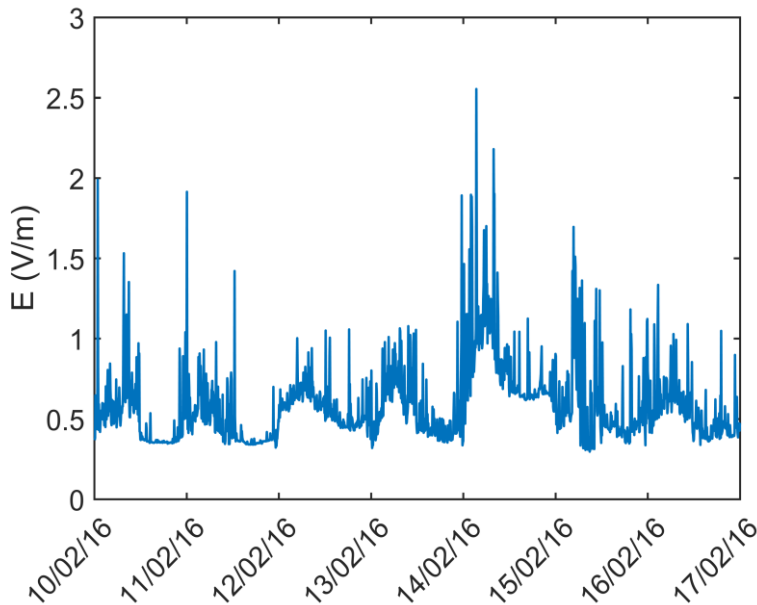
Şekillerden de görüldüğü gibi Çarşamba ve Perşembe günü alışveriş merkezinin açık olduğu saatler arasında (10:00–22:00) E seviyelerinde oldukça değişmiş, alışveriş merkezinin kapanmasını takiben ise E seviyelerinde belirgin bir düşüş yaşanmıştır. Cuma ve Cumartesi günleri kapanış saatinin ardından kaydedilen yüksek E seviyelerin bir sebebi olarak bu günlerde düzenlenen konserler gösterilebilir. Pazar gününün Sevgililer Günü olması sebebiyle ise alışveriş merkezinde tüm gün boyunca kaydedilen E değerleri diğer günlere göre yüksektir. Haftanın başlamasıyla birlikte kaydedilen E değerlerinde bir düşüş yaşanmış ve bu düşüş Salı gününde de gözlenmiştir. Bu iki gün için alışveriş merkezinin kapalı olduğu saatlerde kaydedilen E değerlerindeki artışa mal kabul esnasında yaşanan yoğunluk ve çalışanların Baz istasyonlarına veya Wi-Fi'ye bağlanması sebep olmuştur. Tüm şekiller incelendiğinde ise alışveriş merkezinin açık olduğu saatler arasında kaydedilen E değerlerinin ortalamasının, kapalı olduğu saatlerde kaydedilenlerin ortalamasından belirgin derecede yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin Çarşamba günü alışveriş merkezinin açık olduğu saatlerde kaydedilen E değerlerinin ortalaması 0.62 V/m iken kapalı olduğu saatler için bu değer 0.40 V/m olmuştur. Buna göre gündüz kaydedilen E değeri (10:00–22:00) gece kaydedilen (22:00–10:00) E değerinden %55 daha yüksektir. Tüm ölçüm günlerine ait istatistiksel değerlendirmeler Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi en yüksek E değeri 7.88 V/m olarak Pazar günü ölçülmüştür. Yine Pazar günü 0.87 V/m olarak en yüksek E ortalaması elde edilmiştir. E'nin standart sapması ise 0.26 V/m ile 0.58 V/m arasında değişmektedir. Standart sapmadaki bu değişimin ana kaynağı kullanıcı sayısındaki artış/azalışın olmasıdır. Ölçülen E değerleri ICNIRP ve BTK tarafından belirlenen limit değerlerin altındadır.

**Tablo 1.** E ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri

| Ölçüm zamanı | E (V/m)  |          |                |
|--------------|----------|----------|----------------|
|              | Maksimum | Ortalama | Standart sapma |
| Çarşamba     | 7.81     | 0.52     | 0.39           |
| Perşembe     | 5.59     | 0.47     | 0.34           |
| Cuma         | 6.99     | 0.58     | 0.26           |
| Cumartesi    | 6.76     | 0.57     | 0.37           |
| Pazar        | 7.88     | 0.87     | 0.58           |
| Pazartesi    | 5.86     | 0.57     | 0.46           |
| Salı         | 6.19     | 0.54     | 0.32           |

### 3.1. Ölçüm Sonuçlarının Zaman Serisi Analizi

Zaman serilerinin analizi ile incelenen değişkenin geçmişte gösterdiği seyrin özellikleri belirlenir ve bu bilgilere dayanarak değişkenin gelecekteki davranışı hakkında öngörü yapılabilir. Bu çalışmada alışveriş merkezinde bir hafta süresinde kaydedilen E değerlerinin zaman serisi analizi yapılarak, ortamdaki E seviyesini ifade etmek için bir model önerilmiş ve bu model kullanılarak E'nin gelecekte alacağı değer belirlenmiştir. Bir hafta süresince kaydedilen E değerlerinin 6 dakikalık ortalamaları alınarak elde edilen zaman serisi Şekil 4.'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Haftalık E değerleri

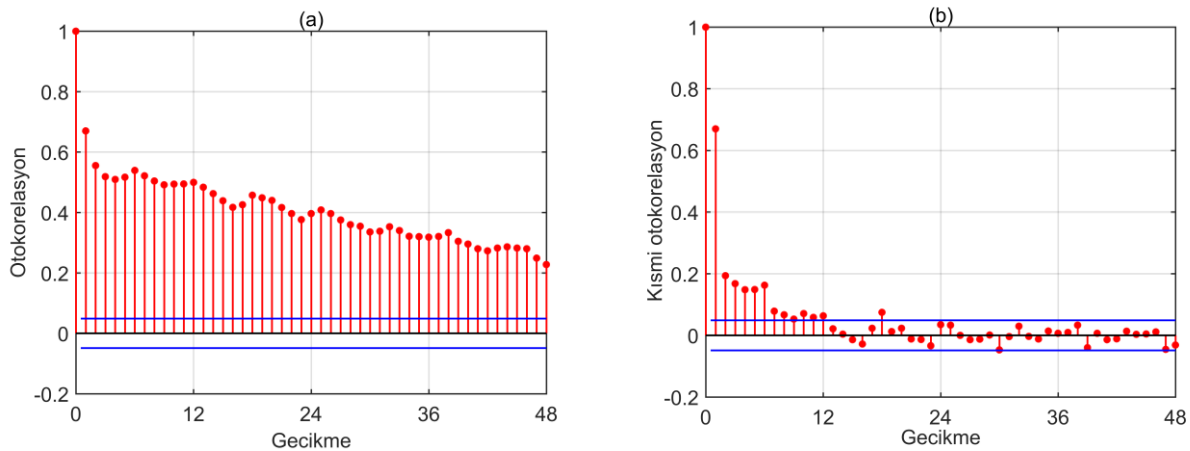
Zaman serisi analizi yapılarak ilave ölçüm yapılmasına gerek kalmaksızın ortamdaki E değerlerinin ne olacağına dair öngörü yapılabilir. Bu çalışmada ölçülen E değerlerinin zaman serisi analizini yapmak için Box Jenkins (Box vd., 2008) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem birçok alternatif model arasından en iyi modeli seçerek değişkenin gelecek değerlerinin belirlenmesine olanak tanır ve bu nedenle geleneksel modellere göre daha çok tercih edilir. Bir değişkene ilişkin tahmin, değişkenin kendi gecikmeli değerleri ve hata terimleri kullanılarak yapılır. Bu yöntem, belirleme, kestirim, oluşturulan modelin test edilmesi ve ileriye dönük tahminlerin yapılması olmak üzere üç aşamadan oluşur. Birinci aşamada serinin durağan, trend durağan veya fark durağan olup olmadığı belirlenerek durağan bir yapıya getirilir. Durağan serinin otokorelasyon (autocorrelation, ACF) ve kısmi otokorelasyon (partial autocorrelation, PACF) değerlerinin değişimine bakılarak otoregresif (autoregressive, AR), hareketli ortalamalar (moving average, MA) veya otoregresif hareketli ortalamalar (autoregressive moving average, ARMA) modellerinden uygun olan belirlenir. İkinci aşamada seçilen uygun modelin katsayıları belirlenir. Son aşamada ise modelin seriyi yeterince iyi ifade edip etmediği test edilir, eğer model seriyi yeterince iyi ifade ediyorsa ileriye dönük tahminler yapılabilir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi gün içinde E değerleri oldukça değişmekte ve bütün haftalık ölçüm sonuçları herhangi bir mevsimsellik (seasonality) içermemektedir. Serinin yapısını belirlemek için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları (1) ve (2) eşitlikleri (Box vd., 2008) kullanılarak belirlenmiş ve sırasıyla Şekil. 5.a ve b'de verilmiştir.

$$\rho_k = \frac{E[(X_t - \mu_t)(X_{t+h} - \mu_{t+h})]}{\sqrt{E[(X_t - \mu_t)^2 (X_{t+h} - \mu_{t+h})^2]}} \quad (1)$$

$$\alpha_1 = \text{cor}(X_2, X_1) = \rho_1$$

$$\alpha_k = \text{cor}(X_{k+1} - P_{\text{sp}\{1, X_2, \dots, X_k\}} X_{k+1}, X_1 - P_{\text{sp}\{1, X_2, \dots, X_k\}} X_1) \quad k \geq 2, \quad (2)$$

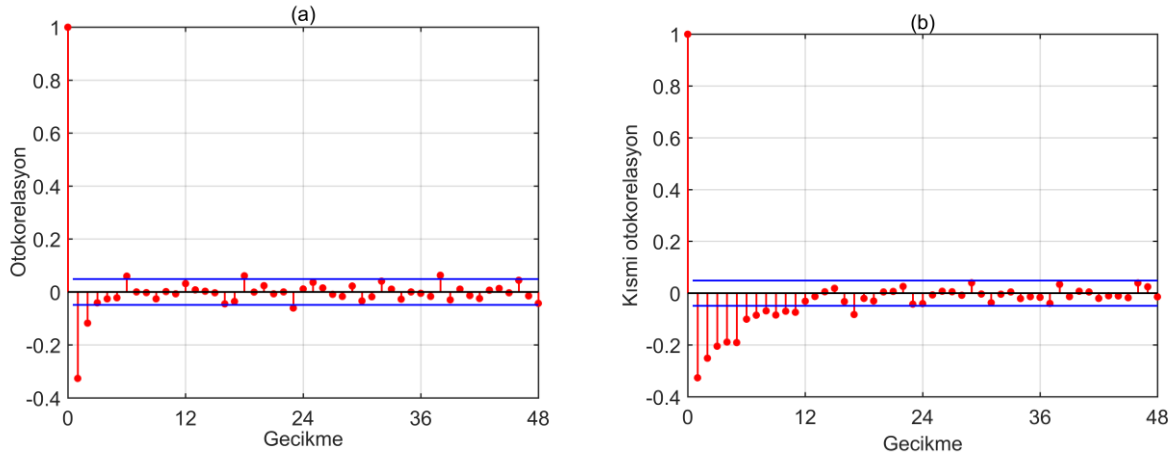
Eşitliklerde  $X_t$  durağan zaman serisini,  $\mu_t$  serinin ortalamasını,  $h$  gecikme sayısını,  $E[.]$  beklenen değeri,  $P_{\text{sp}\{1, X_2, \dots, X_k\}} X$  ise  $X$ 'i 1,  $X_2, \dots, X_k$  üzerine yansıtma işlemini gösterir.



Şekil 5. Ölçülen E değerlerinin a) otokorelasyon, b) kısmi otokorelasyon fonksiyonları

Şekillerden de görüldüğü gibi otokorelasyon katsayıları pozitif, oldukça yüksek, çok yavaş bir biçimde azalmakta ve sıfıra gitmemektedir, kısmi otokorelasyon katsayıları ise üstel bir biçimde azalmaktadır. Bu nedenle seri durağan değildir ve fark alma işlemi uygulanmalıdır. Mevsimsellik içermeyen seriye,  $\nabla$  fark operatörü olmak üzere, (3) eşitliği kullanılarak bir kez fark alma işlemi uygulanır. Durağan hale getirilmiş serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarına sırasıyla Şekil 6.a ve b'deki gibidir.

$$\nabla X_t = X_t - X_{t-1} \quad (3)$$

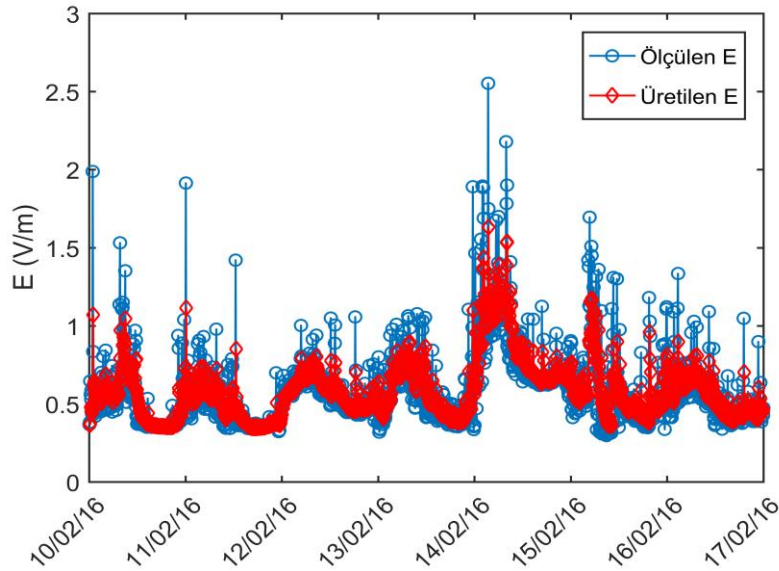


Şekil 6. Fark durağan serinin a) otokorelasyon, b) kısmi otokorelasyon fonksiyonları

Fark durağan serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları (Şekil 6.a ve b) incelendiğinde ise; otokorelasyon katsayılarının çok daha hızlı bir biçimde azaldığı ve 2. gecikmeden sonra değerlerinin göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle seri hareketli ortalamalar (2) (Moving Average, MA(2)) modeli ile  $e_t \sim N(0,0.028)$  olmak üzere (4)'teki gibi ifade edilebilir.

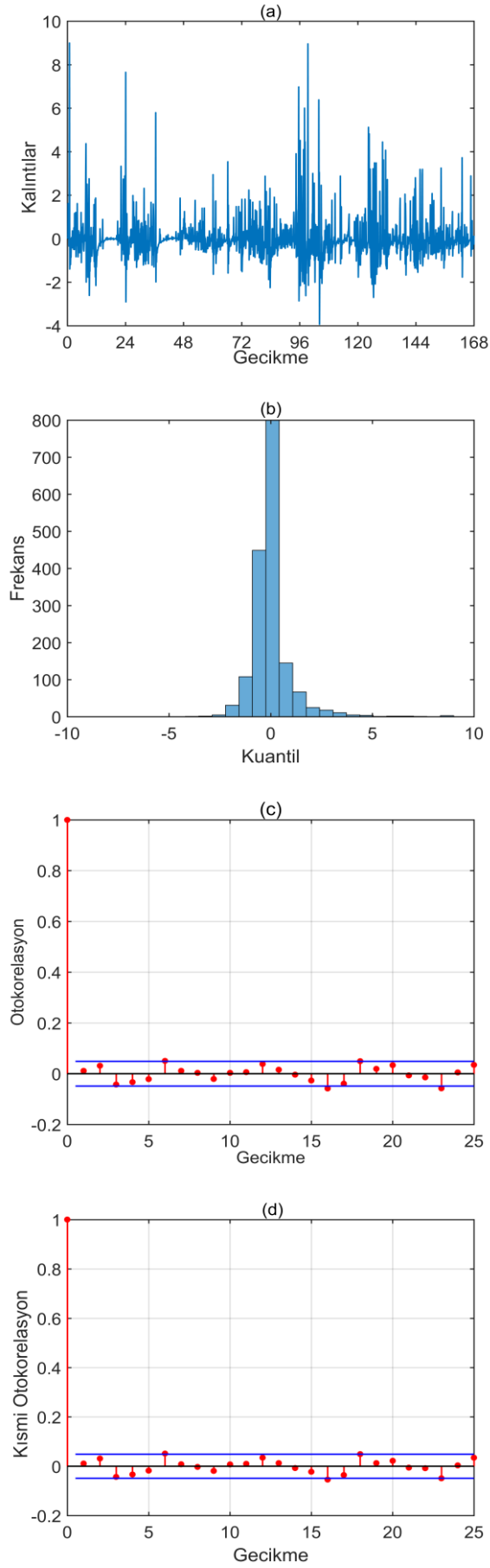
$$X(t) = e_t + 0.60e_{t-1} + 0.23e_{t-2} \quad (4)$$

Önerilen modelin uygunluğunu kontrol etmek için, ölçülen E değerleri ve model kullanılarak üretilen E değerleri karşılaştırılmış ve sonuç Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ölçülen ve üretilen E değerleri

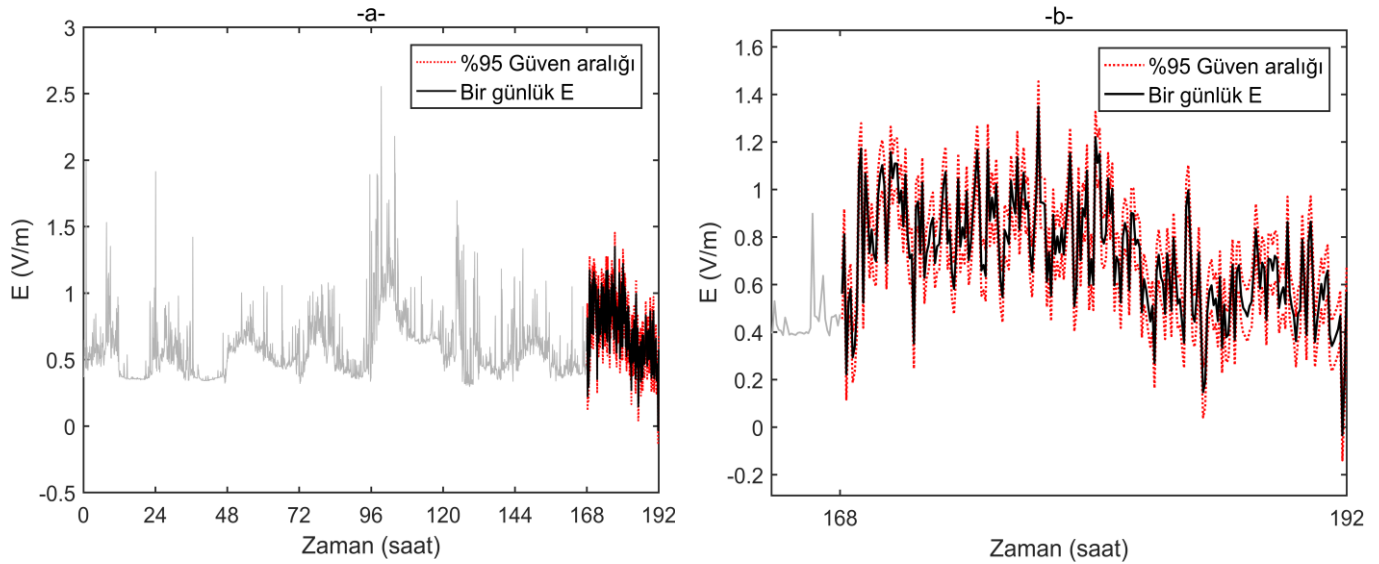
Önerilen modelin ölçülen E değerlerini iyi ifade edip etmediğini kontrol etmek için kalıntıları (residuals), kalıntıların histogramı, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları incelenmiş ve sırasıyla Şekil 8. a, b, c ve d'de verilmiştir.



Şekil 8. Kalıntı analizi



Şekil 8.a'dan görüldüğü gibi kalıntılarda bir trend yoktur. Şekil 8.b incelendiğinde kalıntıların normal dağılımlı olduğu hipotezinin kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Şekil 8.c ve d'den ise kalıntıların ilinti katsayılarının göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenebilir. Bu nedenle kalıntı analizine dayanarak üretilen modelin uygun olduğu söylenebilir. Uygun modelin belirlenmesinden sonra E'nin gelecekte alacağı değerleri belirlemek için öngörü yapılmış, model kullanılarak bir gün sonraki E değeri belirlenmiş ve değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi öngörüsü yapılan E değerleri, ölçülen E değerlerine oldukça yakındır ve doğruluğu %95 güven aralığı ile belirtilmiştir.



Şekil 9. a) Ölçülen E değerleri ve bir gün sonraki E'nin tahmini, b) Tahmin edilen E'nin yakınlaştırılmış görüntüsü

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Samsun'da bulunan bir alışveriş merkezinde (AVM) bir hafta boyunca 24 saatlik E ölçümleri PMM-8053 EMR metre kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarından; kullanıcı sayısının ölçülen E'yi doğrudan etkilediği, E değerinin ölçüm gününe bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, AVM'nin açık olduğu saatlerde ölçülen E'nin kapalı olduğu saatlere göre %55'e varan oranlarda daha yüksek olduğu görülmüştür. Ölçümlerde en yüksek E değeri 7.88 V/m, en yüksek ortalama E değeri ise 0.87 V/m olarak kaydedilmiştir. Bu değerler ICNIRP ve BTK tarafından belirlenen limit değerlerin çok altındadır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise zaman serisi analizi ile E'nin bir haftalık değişim incelenmiş ve ortamdaki E'nin gelecekteki değerini tahmin etmek için yeni bir model önerilmiştir. Bu model ile %95 güven aralığı ile ortamdaki E herhangi bir ölçüm cihazına gerek duyulmadan kolaylıkla belirlenebilir.

#### REFERANSLAR

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

Box, G., Jenkins, G., Reinsel, G., (2008). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Hoboken, NJ, USA: Wiley.

BTK (2015). Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. 9 Ekim 2015 tarihli Resmi Gazete, Sayı no.29497.

Engiz, B.K., Kurnaz, Ç. (2017). Long-Term Electromagnetic Field Measurement and Assessment for a Shopping Mall. Radiation Protection Dosimetry, 175(3), 321-329

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 Emprical Modelling of Electromagnetic Pollution on an University Campus. *The Applied Computational Electromagnetic Society Journal*, 33(1), 111-114.
- Kurnaz, Ç., Bozkurt, M.C., (2016). Measurement and Evaluation of Electromagnetic Pollution Levels in Ünye District of Ordu. *Journal of New Results in Science*, 5(12), 149-158.
- Kurnaz, Ç., Engiz, B.K. (2016). Measurement and Evaluation of Electric Field Strength in Samsun City Center. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computer*, 4(1), 24-29.
- Martens, A.L., Slotje, 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.
- PMM (2018). [http://www.pmm.eu/includes/sendfile.asp?nomep=Field\\_Probes](http://www.pmm.eu/includes/sendfile.asp?nomep=Field_Probes). Erişim tarihi: 13.07.2018
- 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., Rösli, M., (2014). Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities. *Environ. Res.*, 134, 134-142.