DEÜ FMD 22(66), 781-792, 2020

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi
Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering

Basılı/Printed ISSN: 1302-9304. Elektronik/Online ISSN: 2547-958X

Zamana Bağlı Doğal Uçlaşma Ölçümleri ve Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi(EADA): İzmir-Urla Örneği

Self-potential Monitoring and Detrended Fluctuation Analysis(DFA): A Case Study of Izmir-Urla Example

Petek Sındırgı [1*], Nur Sungurlu [2]

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35160, İzmir, TÜRKİYE
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, 35160, İzmir, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author **: petek.sindirgi@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 14.11.2019 *Araştırma Makalesi/Research Article*
Kabul Tarihi / Accepted: 26.02.2020 *DOI:10.21205/deufmd.2020226613*
Atıf şekli/ How to cite: SINDIRGI, P., SUNGURLU, N. (2020). Zamana Bağlı Doğal Uçlaşma Ölçümleri ve Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi(EADA): İzmir-Urla Örneği. DEUFMD 22(66), 781-792.

Öz

Doğal uçlaşma (DU) yer altındaki doğal kaynaklar tarafından üretilen bir elektrik alandan üreyen bir sinyaldir ve yeryüzündeki herhangi iki nokta arasında mesafeye ya da zamana bağlı olarak ölçülür. Son zamanlarda, DU zaman serilerinin "üssel değişim yasası" davranışının, istatistiksel öz-benzerlik kavramına dayanan prosedürlerle daha iyi belirlenebildiği gösterilmiştir. Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi (EADA), zaman içinde durağan veya durağan olmayan stokastik ve kaotik sinyallerin istatiksel öz-benzerlik özelliklerini belirlemek için geliştirilmiş istatistiksel bir araçtır. Bu çalışmada, İzmir İli, Urla İlçesi Gülbahçe Köyü'ndeki çalışma alanında kurulan istasyonda, iki yıllık süreçte eşit zaman aralıklarıyla kaydedilen DU ve toprak altı sıcaklıkları kullanılmıştır. EADA'nın 1,5'e yakın ölçekleme katsayısı veren sayısal sonuçları, Urla istasyonunda kaydedilen DU sürecinin durağan olmayan bir süreçten kaynaklandığını göstermiştir. Ölçekleme katsayısı, güç spektrumundan elde edilen β spektral üs değeri(2,01) yardımıyla da 1,50 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Urla İstasyonunda kaydedilen DU süreci, bağımsız "Kahverengi gürültüler" tarafından üretilen bir rastgele yürüyüş süreci olarak tanımlanabilir ve "kesirsel Brown hareketi (fBm)" olarak modellenebilir. Ayrıca, görsel olarak, SP zaman serisi verileri ile depremlerin büyüklükleri ($M_L \geq 3$) ve MGM'den sağlanan yakındaki istasyonlardaki toplam günlük yağışlar ile Urla İstasyonunda ölçülen toprak altı sıcaklıkları arasındaki olası ilişkiler araştırılmıştır. Deprem verileri ile yapılan karşılaştırmada bariz bir ilişki kurulamamış ancak toprakaltı sıcaklıkları ve yağış verilerinin DU değişiminde etkin rol oynadığı görülmüştür. Bu sonuç, doğal uçlaşmanın mevsimsel etkilere bağımlı olduğunun bir kanıtıdır. Alanda ölçülen akma potansiyellerinin yüzey sularının yeraltına doğru süzülmesiyle olduğu ve kırıklı serbest akifer özelliğinde olan Kocadağ volkaniklerinin bu süzülmelerle beslendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Doğal uçlaşma, Eğilimden arındırılmış dalgalanma analizi, güç spektrumu*

Abstract

Self-potential (SP) is a signal from an electric field produced by natural sources in the subsoil and is measured as the voltage difference between two points on the earth's surface as function of time as well as distance. Recently, it has been shown that the "power-law" behavior of SP time series can better be determined by the procedures based on the assumption of self-affinity. Detrended Fluctuation Analysis (DFA) is a statistical tool developed to determine self-affinity properties of stochastic and chaotic signals, which are either stationary or nonstationary over time. In this work, a SP monitoring station located near Gülbahçe village of Urla town and the daily time series data of SP and sub-soil temperatures recorded for two years are described. The numerical results of DFA yielded fluctuation exponents near 1,5 indicated that the SP process recorded at Urla Station is a quite possibly from a nonstationary process. This result is also cross-validated considering the fact that estimate of spectral power β at low frequencies was nearly 2, corresponding to a fluctuation exponent α=1,5. Therefore, the SP process recorded at Urla Station is a random walk process generated by independent "Brown noise" inputs, and can be modeled as a "fractional Brownian motion(fBm)". Furthermore, in a visual basis, the possible relations between the SP time series data and the timings of earthquakes ($M_L \geq 3$), and between the total daily precipitations at nearby stations supplied from MGM and sub-soil temperatures measured at the Urla Station are investigated. When the SP data compared with the earthquake magnitudes, there is no a clear relationship between them, but it is observed that the sub-soil temperatures and precipitation data played an active role on SP anomalies. This result is evidence that SP is dependent on seasonal effects. It shows that the streaming potential measured in the area are due to infiltration and that the abundant fracture unconfined aquifer feature, Kocadağ volcanics are affected by the surface effects. It shows that Kocadağ volcanics, which featured fractured unconfined aquifer, are affected by the surface infilitrations.

Keywords: *Self-potential, detrending fluctuation analysis, power spectrum*

1. Giriş

Doğal uçlaşma yönteminin zamana bağlı uygulamaları yaklaşık son 20 yılda geliştirilmiştir [1-11]. Bu uygulamalarda genellikle, DU süreciyle yeraltı suyu akışı, heyelan [5,45], volkan hareketliliği [1] ve deprem [2-4,6] süreçlerinin olası ilişkileri incelenmiştir. Yöntem, özellikle İtalya'nın güney bölgesinde sıklıkla uygulanmıştır [1-6].

Günümüze dek yapılan çalışmalarda, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilen doğal uçlaşma verilerine EADA (Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi) [4,8,9], TBA (Temel Bileşen Analizi)[6] ve MDS (Multidimensional Scaling Technique)[10] gibi pek çok yöntem uygulanmıştır. Ülkemizde ise konuyla ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır [7,11,12].

Eğilimden arındırılmış dalgalanma analizi (EADA) günümüze dek yerbilimlerinin çeşitli alanlarında kullanılmıştır. Petrol aramalarında kuyu loglarından yararlanarak yapılan modelleme uygulamalarında [10], deprem kataloglarından yararlanarak deprem davranışının belirlenmesinde [2,4,10,14-19], sismisite gözlemleriyle volkanik süreçlerin incelenmesinde [1,20,21] ve sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde depremlerin manyetik [22-24] ve doğal uçlaşma verilerine [6,8,25-30] etkilerinin araştırılmasında kullanılmıştır. Ayrıca, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilen doğal uçlaşma verilerinin spektral analiz uygulamaları da [2,3,8,28-30] sıkça yapılmıştır.

Çalışma alanını içeren İzmir-Urla-Gülbahçe bölgesini kapsayan pekçok yerbilimleri çalışması mevcuttur. Gülbahçe jeotermal sisteminin yapısal, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özelliklerini [31, 33-34] ve Gülbahçe Körfezi'nin neotektonik yapısını [32] inceleyen çalışmalar vardır. Alanın yapısal özellikleri çeşitli jeofizik yöntemlerle de ortaya konmuştur [34-38]. Sındırgı ve Kaftan [7], İzmir-Urla-Demircili köyü bölgesinde zamana bağlı ölçülen doğal uçlaşma verilerine yapay sinir ağları yöntemini uygulayarak, deprem ve yağış etkisini incelenmişlerdir. Gök ve Polat [35] odak mekanizma çözümlerini kullanarak İzmir ve çevresinin güncel tektoniği hakkında bilgi vermiştir. Özer ve Polat [37] ise, yerel deprem tomografisinden yararlanarak İzmir ve çevresinin üç boyutlu sismik hız yapısını açıklamışlardır.

Bu çalışmada, İzmir ili Urla ilçesinde kurulmuş DU gözlem istasyonunda iki yıl süre ile kaydedilen günlük ortalama doğal uçlaşma (DU) verilerine "Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi (EADA)" yöntemi uygulamaları sunulmuştur. Ayrıca, DU değişimine neden olabilecek hidrojeolojik, tektonik ve sismik etmenler ile ilgili karşılaştırmalar yapılarak jeolojik ilişkilendirme yapılmıştır.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Hidrojeolojisi

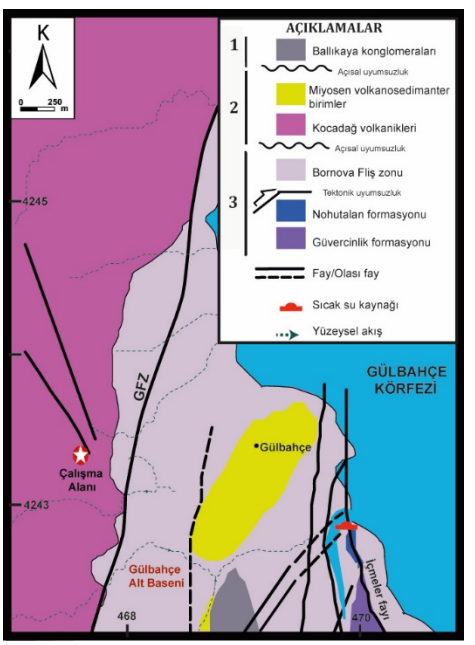
Çalışma alanı İzmir ili Urla ilçesi Gülbahçe Köyü kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). DU gözlem istasyonunun yeri Gülbahçe alt baseni yakınında Kocadağ volkaniklerinin bulunduğu bölgedir. Bu bölgede Gülbahçe fay zonuna ait K-G ve KB-GD yönelimli faylar etkindir. Bu faylar bölgenin hidrojeolojik yapısında etkin rol oynar.

Çalışma alanının tabanını, Miyosen öncesi yaşlı Karaburun Platformu birimleri olan Nohutalan ve Güvercinlik formasyonları oluşturur[33]. Tabanda bu birimlerin yanında Bornova Fliş Zonunun(BFZ) üst Kretaseden ve Paleosene uzanan kumtaşı, silttaşı, şeyl, serpantinit ve diyabaz gibi kayaçları da yer almaktadır. Nohutalan ve Güvercinlik formasyonları içinde kırıklı kireçtaşları ve dolomit birimleri baskındır. Bu birimlerin üzerinde Miyosen ve Kuvaterner yaşlı iki örtü grubu vardır. Miyosen örtü iki farklı grupta tanımlanabilir. Bunlardan, DU istasyonlarının da üzerine yerleştirildiği batı kesimde yer alan (Şekil 1.) Kocadağ volkanikleri; andezit, aglomera, tüf ve volkanik breşleri içerir. Çalışma alanı dahilinde olmayan ve doğuda kalan Urla volkanikeri ise diğer Miyosen yaşlı örtü birimidir. Kuvaterner yaşlı birimler ise Ballıkaya formasyonunu oluşturur.

Çalışma alanında çoğunluğu K-G yönlü olan Gülbahçe Fay Zonunun fayları mevcuttur. Fay segmentleri Söğütköy nehri yakınında Gülbahçe alt basenine girer ve basenin sınırlarını oluşturur. Segmentler güneyde doğrultu atım karakterine sahipse de kuzeyde Gülbahçe alt basenine girdiğinde oblikten normal faya yönelim gösterirler. Bu segmentlerden biri yaklaşık kuzey-güney doğrultuda kuzeye doğru dik açıyla dalarak Kuvaterner tortullarını ayıran ve Gülbahçe jeotermal alanı çevresindeki nehirlerin morfolojisini kontrol eden yapıdadır. Bu çalışmada DU ölçümü yapılan gözlem istasyonu bu segmentin yaklaşık 250 metre batısında yer almaktadır (Şekil 1).

İstasyonun üzerine kurulduğu Kocadağ volkaniklerinin birincil gözenekliliği ve geçirgenliği düşük olmasına rağmen iyi gelişmiş bir kırık ağına ve faylara sahip olması nedeniyle ikincil geçirgenliği yüksektir. Bu nedenle Kocadağ volkanikleri orta derecede verimli, kırıklı, çatlaklı bir akifer olarak kabul edilir [33]. Taban birimlerinden Nohutalan ve Güvercinlik formasyonlarının da birincil gözenekliliği ve geçirgenliği düşük, ancak ikincil geçirgenliği yüksektir. Bu birimler içerdikleri kırıklı kireçtaşları nedeniyle karstik bir akifer durumundadır. Bornova flişinin de benzer şekilde birincil gözenekliliği ve geçirgenliği yoktur. Ancak bünyesindeki kırıklar ve deformasyon zonları su sirkülasyonuna izin verebilir[33].

Gülbahçe jeotermal alanında daha önce yapılmış jeokimyasal ve hidrojeolojik çalışmalar [31-33]; Gülbahçe alt baseninin batısında kalan ve DU istasyonunun da üzerine kurulu olduğu alandaki akiferlerin sıcaktan çok soğuk su içerdiğini göstermiştir.

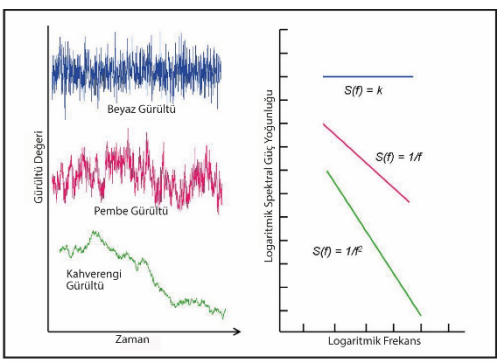


Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi ([33]'ten Türkçeleştirilierek ve kesilerek alınmıştır). Açıklamalarda yer alan 1:Kuvaterner birimleri, 2:Miyosen örtü birimlerini, 3:Pre-Miyosen taban birimlerini içerir.

3. Materyal ve Metot

Yeraltı suyu kırıklı ve gözenekli ortamlarda oluşan basınç farkı yardımıyla hareket eder. Bu hareket, "Akma gerilimi" adı verilen bir elektrokinetik gerilim yaratır. Gerilim, yeraltına doğru süzülme şeklinde bir akışkan hareketi var ise negatif, yer içinden yeryüzüne doğru bir akış var ise pozitif uçlaşma yaratır [5,45]. Zamana bağlı DU ölçümlerindeki dalgalanmalar incelenerek yağmur suyu süzülümü hakkında yararlı bilgiler sağlanabilir. Ölçülen DU verileri bir zaman serisi olarak ele alınır.

Zaman serilerinde üssel değişim yasası uygulanırken gürültü çeşitlerinden yararlanılır. Beyaz gürültü tüm frekanslarda aynı enerjiyi taşır, spektrumu frekans eksenine paralel bir doğrudur. Pembe gürültü spektrumunda genlik frekansla logaritmik olarak azalırken, kahverengi gürültü spektrumunda frekansın karesiyle logaritmik olarak azalmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Gürültü türlerinin zamana bağlı değişimi ve logaritmik güç spektrumları([38]'den Türkçe'ye çevrilmiştir.)

3.1 Eğilimden arındırılmış dalgalanma analizi (EADA)

Fraktal sözcüğü Latincede parçalanmış, kırılmış anlamına gelen "fractus" sözcüğünden türemiştir. Kesirli (Fraktal) özelliğe sahip sistemler ölçekle değişmez ve her alt parçası kendine benzer (self-similarity). Kesirli bir sistem, Öklit geometrisindeki nokta, çizgi, alan ve hacim gibi geometrik unsurların sahip olduğu tam sayı boyuttan farklı olarak "kesirsel (fraksiyonel)" bir boyuta sahiptir. Doğada fraktal veya Fraktalımsı yapılara faylar, kıyılar, nehirler, topoğrafya örnek verilebilir. Kesirli boyut özellikle, doğrusal olmayan sistemlerin kaotik davranışlarındaki düzenliliği saptamak için kullanılmaktadır. Bu özelliğe sahip öz-benzer sistemler genellikle bir üssel değişim yasası ile temsil edilebilmektedirler. İstatiksel anlamda öz-benzerlik(self-affinity), bir sürecin, olasılık dağılımının, ya da basit halde standart sapmasının, zaman ve konum ile üssel orantılı değişmesidir. Üssel değişim yasası, bir büyüklükteki göreli bir değişikliğin, başlangıç koşullarından bağımsız olarak başka bir büyüklük ya da fonksiyonda orantılı göreceli değişimle sonuçlandığını belirtir. X gibi bir fonksiyondaki α ölçeğindeki bir değişikliğin üssel değişim yasasına göre Y gibi bir fonksiyondaki orantılı değişimi $Y \approx X^{\alpha}$ şeklinde gösterilir.

Durağan olmayan (nonstationary) zaman serilerindeki korelasyon özelliklerini nitelendirmek için kullanılan Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi (EADA) ilk olarak 1994 yılında Peng ve diğerleri [39] tarafından ortaya konmuştur. EADA Yöntemi, alt kümelerdeki örnek adedi (n) ile F(n) arasında $F(n) \approx n^{\alpha}$ şeklinde bir üssel değişim yasasının varlığına dayanır.

$\overline{X}$, X(t) zaman serisinin ortalaması olmak üzere, t=1,2,3,…,N için, yığınsal Y(t) serisi;

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{t}[\, X(i) - \overline{X}\,] \qquad (1)$$

olarak hesaplanır. Y(t), k=1,2,….,m adet, n adet örneğe sahip parçalara bölünür (m=N/n). Her parçaya en küçük kareler yöntemiyle, en az doğrusal olmak üzere,

$$Y_{k,n}(t) = b_{0,k} + b_{1,k}\, t + \ldots\ldots + b_{p,k}\, t^{p} \qquad (2)$$

şeklinde çeşitli derecelerden polinomlar uydurulur. Burada p seçilen polinomun derecesidir. Daha sonra her bir Y(t) değerinden $Y_{k,n}(t)$ değerleri çıkarılarak zaman serileri eğilimlerinden arındırılır. Eğilimden arındırılmış alt zaman serilerinin standart sapması F(n), $n \geq p+2$ olmak üzere,

$$F(n) = \left[\frac{1}{nm}\sum_{k=1}^{m}\sum_{t=(k-1)n+1}^{nk}\left[\, Y(t) - Y_{k,n}(t)\right]^{2}\right]^{1/2} \qquad (3)$$

olarak ifade edilir [47].

EADA Yöntemi, alt kümelerdeki örnek adedi(n) ile F(n) arasında $F(n) \approx n^{\alpha}$ şeklinde bir üssel değişim yasasının varlığına dayanır. {log n, log

F(n)} serisine en küçük kareler yöntemiyle bir doğru uydurulur. Bu doğrunun eğimi α ile gösterilir ve ölçekleme katsayısı olarak adlandırılır. Durağan sistemlerde $0<\alpha<1$, durağan olmayanlarda ise $1<\alpha<2$ dir. $0<\alpha<1$aralığındaki durağan sistem, kesirsel (fraksiyonel) Gauss gürültüsü (fGn), ve $1<\alpha<2$ aralığındaki durağan olmayan sistem, kesirsel Brown hareketi (fBm) olarak tanımlanır.

$0 < \alpha < 1$ durağan sürecin özel durumları $\alpha < ½$ ters korelasyonlu kesirli Gauss gürültüsü, $\alpha=1/2$ beyaz gürültü olarak nitelendirilir. $\alpha = 1$ iken Flicker (1 / f) gürültü (pembe gürültü) adını alır. Durağan olmayan sistemlerde ise, $\alpha = 3/2$ iken kesirsel Kahverengi gürültü adını alır. Kahverengi gürültü, veri setinin geçmişteki değerlerine bağlı olduğu, uzun bellekli korelasyonların var olduğu bir süreçtir.

$$S(w) = |F(w)|^2 \quad (4)$$

olarak ifade edilen güç spektrumunun [25], logaritmik ölçekte değişiminin eğimi spektral üs (β) olarak tanımlanır. Bu değerle EADA'de kullanılan ölçekleme katsayısı (α) arasında

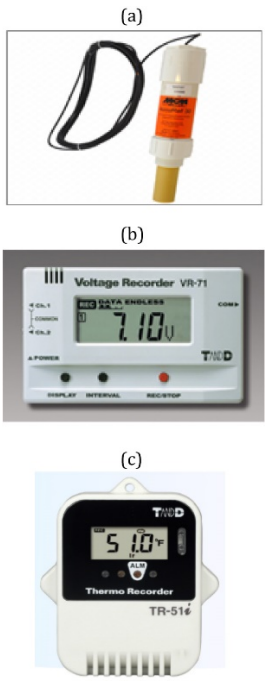
$$\alpha = (1+\beta)/2 \quad (5)$$

ilişkisi mevcuttur [39].

3.2 Zamana bağlı doğal uçlaşma ve toprak altı sıcaklıkları ölçümleri ve ekipmanları

Urla – Gülbahçe köyünde yapılan çalışmada bakır sülfat içeren MCM marka elektrotlar kullanılmıştır. (Şekil 3.a). Elektrotların boyu 40 cm ve çapı 5 cm'dir. İçerdiği antifriz sayesinde -40 derece soğukta bile çalışabilmektedir. Toprağa gömülü kısımları uzun süreli ölçüm almaya uygun seramik silindirden yapılmıştır. Çalışma alanında 10 dakika aralıklarla ölçülen DU verileri, iki kanallı, T&D marka, VR-71 model bir kayıtçıda depolanmıştır (Şekil 3.b). Ayrıca, DU verileri ile eş zamanlı toprak altı sıcaklıkları da ölçülmüştür. Ölçümler, T&D marka TR-51-i model kayıtçıda depolanmıştır (Şekil 3.c).

Literatürde yer alan daha önce yapılmış çalışmalarda zamana bağlı doğal uçlaşma ölçümleri için dipoller ve dikdörtgen şekilli çeşitli dizilimler kullanılmıştır[6,43]. Bu çalışmada da 110m-90m boyutlarında, dikdörtgen dizilim şeklinde bir istasyon kurulmuştur (Şekil 4). Bu dikdörtgenin köşelerine, yüzeyden yaklaşık 40 cm derinliğe DU elektrodları gömülerek sabitlenmiştir. Bu elektrotların her ikisinin bağlı olduğu gerilim kayıtçıları 2 ve 4 noktalarına konumlandırılmıştır (Şekil 5). Gerilim kayıtçılarının her bir kanalı iki potansiyel elektrotu arasındaki farkı 10 dakikada bir kaydetmektedir.



Şekil 3. (a) MCM marka $CuSO_4$ içeren elektrot[41] (b)T&D(VR-71) marka gerilim kayıtçısı[40] (c)T&D(TR-51i) marka sıcaklık kayıtçısı[42]

2 no'lu kayıtçıda birinci kanal (K1) 1-2 arasındaki gerilim farkını, diğer kanalı (K2) ise 2-3 arasındakini ölçmektedir(Şekil 5). Benzer şekilde 4 no'lu kayıtçıda da birinci kanal 4-1 arasındaki gerilim farkını, diğer kanalı ise 4-3 arasındakini ölçmektedir(Şekil 5).

Dikdörtgen dizilim, kayıtçılardan birinin bozulması vb. gibi durumlarda diğer kayıtçının verilerini değerlendirmek amacıyla tercih edilmiştir. İstasyonumuzdaki 4 no'lu kayıtçıya ait kayıtlarda arıza nedeniyle eksikler vardır. Bu nedenle, çalışmada yalnızca 2 no'lu kayıtçının kaydettiği veriler değerlendirilmiştir.

Şekil 6'da 2 no'lu kayıtçının her iki kanalında 10 dakika aralıklarla ölçülen gerilim farkları gösterilmiştir. İki kanalda ölçülmüş değerler gerek nicelik, gerekse de zamanda değişimleri

çok benzer olduğundan sadece birinci kanalda (K1) depolanan veriler değerlendirilmiştir.

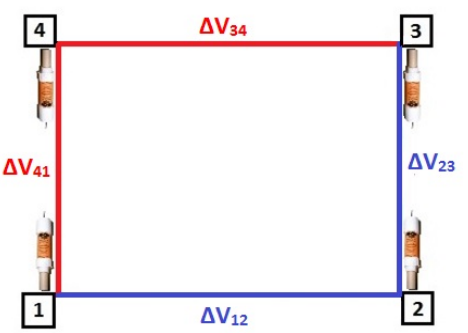


Şekil 4. Çalışma alanı ve istasyonun Google Earth görüntüsü

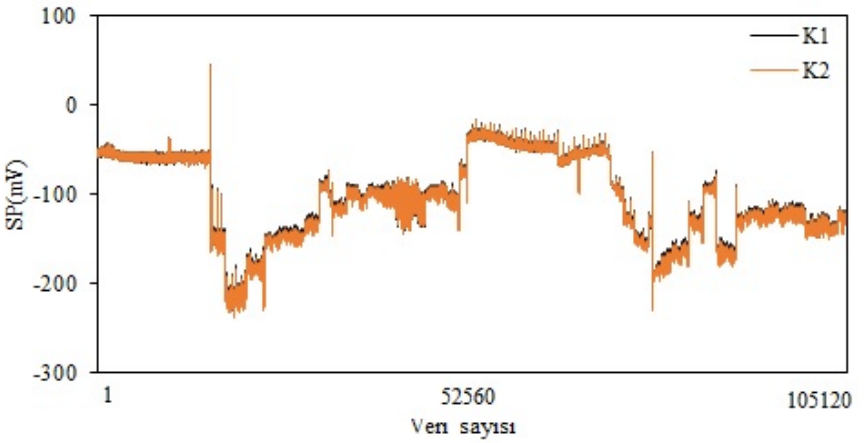
4. DU verilerinin EADA Analizleri ve Güç Spektrumları

Eğilimden arındırılmış dalgalanma analizi için öncelikle 15.06.2013-14.06.2015 tarihleri arasında 2 no'lu kayıtçıda 10 dakikada bir ölçülen DU değerlerinin günlük ortalamaları hesaplanmıştır. Günlük ortalama hesaplamak, hem gün içindeki geçici gürültüleri elimine etmeyi hem de DU verilerini günlük olarak diğer büyüklüklerle (yağış miktarı, deprem büyükülüğü, sıcaklık) karşılaştırmada kolaylık sağlamıştır. Bu amaçla, DU ortalamalarıyla birlikte, şekil 7.a'da istasyonun yeri merkez noktası olmak üzere, 100 km yarıçaplı alan içinde, ilgili süreçte meydana gelen depremler ($M_L \geq 3$) [44], şekil 7.b'de T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) sağlanan bölgesel günlük yağış miktarları(mm) [46] ve şekil 7.c'de istasyonda ölçülen toprak altı sıcaklıkları gösterilmiştir.

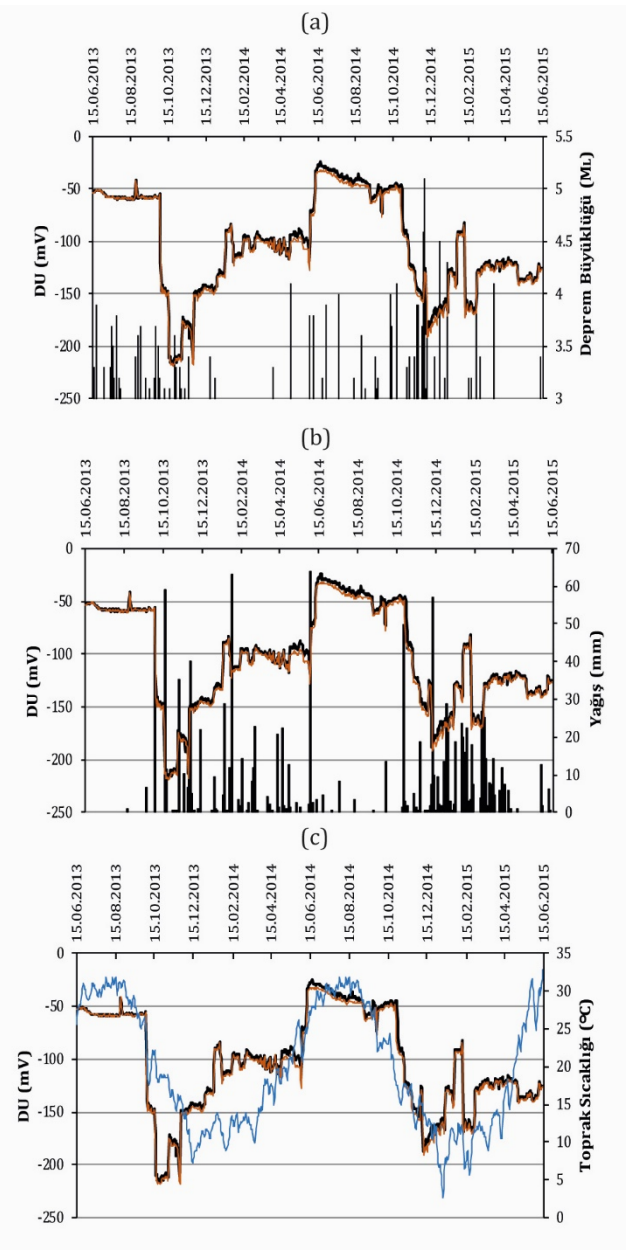
Kanal 1(K1)'e ait günlük ortalama DU değerleri kullanılarak çeşitli polinom derecelerine(p) göre (1,2,3), F(n) değerleri hesaplanmış ve log(n)-logF(n) grafiğinin eğiminden α ölçekleme katsayıları bulunmuştur. Ayrıca, güç spektrumundan yararlanılarak log(w)-log[S(w)] grafiğinin eğiminden β spektral üs değeri bulunmuştur (Şekil 8). Elde edilen ölçekleme katsayıları genel olarak 1,5'e yakın, spektral üs değeri 2,01 olarak elde edilmiştir (Tablo 1). α ölçekleme katsayısının 1,5 e yakın olması, Bölüm 3.1'de açıklandığı üzere günlük ortalama DU sisteminin durağan olmayan sistem olduğunu ve kesirsel Brown hareketini(fBm) tanımlar.



Şekil 5. Elektrot dizilimi ve oluşan potansiyel farklar



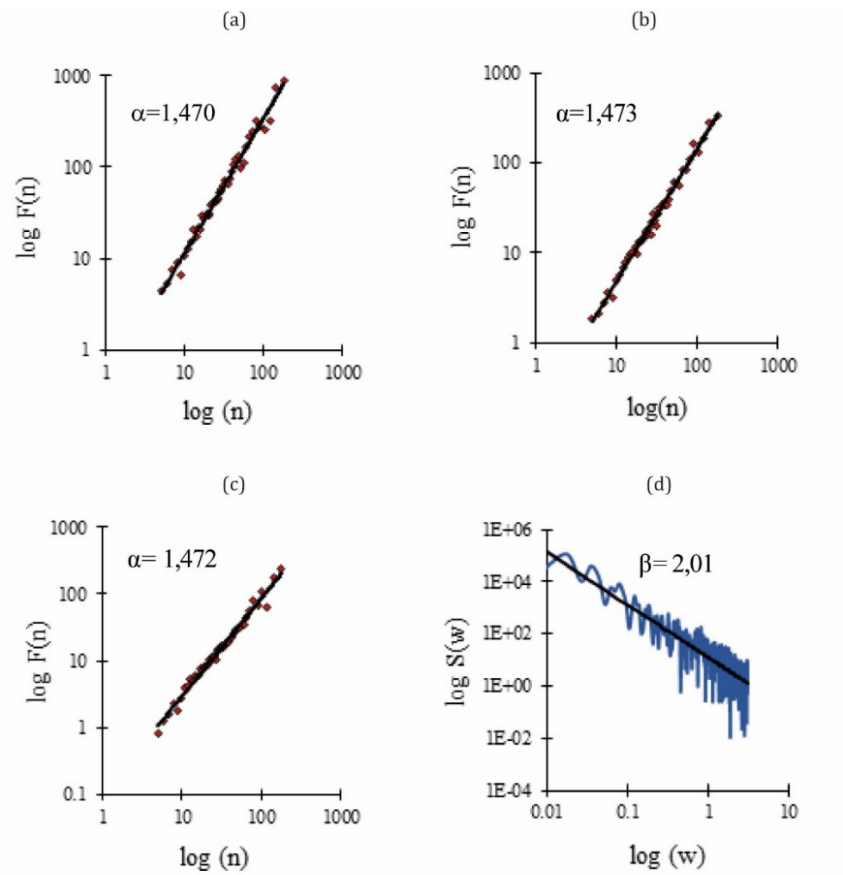
Şekil 6. 15.06.2013-14.06.2015 tarihleri arasında K1 ve K2 kanallarında 10 dakika aralıklarla ölçülen doğal uçlaşma verileri



Şekil 7. 15.06.2013-14.06.2015 tarihleri arasında her iki kanalda ölçülen günlük ortalama DU verileri ile aynı zaman ölçeğinde (a) deprem büyüklüğü ($M_L \geq 3$), (b) günlük yağış miktarları ve (c) ölçülen toprak altı sıcaklıkları

Tablo 1. EADA ile çeşitli eğilimler (p:polinom derecesi) için ve Güç spektrumundan yararlanılarak hesaplanan α ve β değerleri

Yöntem	EADA ile α	Güç Spektrumu ile α	Güç Spektrumu ile β
Hesaplanan parametre	1,470 Doğrusal (p=1) 1,472 Kuadratik (p=2) 1,473 Kübik (p=3)	1,50	2,01



Şekil 8. Günlük ortalama DU verilerinin (a)doğrusal (b) Kuadratik (c) Kübik eğilimler için EADA analizleri ve hesaplanan α ölçekleme katsayıları, (d) Güç Spektrumundan hesaplanan β spektral üs değeri

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, Ege Bölgesi'nin sismik yönden aktif Gülbahçe fay zonu içinde ölçülen jeoelektrik (DU) zaman serilerinin dinamiğini araştırmak için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan EADA ve güç spektrumu gibi yöntemler, ölçüm yapılan bölgede DU değerlerinin, ortamın jeolojik, hidrojeolojik ve meteorolojik özelliklerine bağlı olarak, zaman içindeki rastlantısal değişimi hakkında genel bulgular sağlamıştır.

Çalışma alanında, 15.06.2013-14.06.2015 tarihleri arasında 10'ar dakika aralıklarla kaydedilen doğal uçlaşma (DU) verilerinin günlük ortalamaları hesaplanarak EADA ve güç spektrumu analizleri yapılmıştır. Hesaplanan günlük ortalama doğal uçlaşma (DU) değerlerinin üssel değişim yasasına uygun davrandığı ve doğrusal, kuadratik ve kübik eğilimler için hesaplanmış α ölçekleme katsayısının yaklaşık 1,5 civarında olduğu saptanmıştır. Polinom derecesini(p) arttırmanın hesaplanan ölçekleme katsayısında kayda değer bir yarar sağlamadığı(0.001mertebesinde) görülmüştür. Serilerin güç spektrumlarının logaritmik ölçekte çizimi yardımıyla elde edilen β spektral üs değeri ise 2,01'dir. α ölçekleme katsayısı; EADA'nin yanısıra β spektral üssü ile olan $\alpha = (1+\beta)/2$ ilişkisinden yararlanılarak 1,50 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değer EADA ile hesaplanan değerlere oldukça yakındır. Her iki yöntemle hesaplanan α ölçekleme katsayısından zaman serilerinin durağan olmayan bir karakteristikte olduğu, bir güç fonksiyonu şeklinde davrandığı ve kesirsel (fraksiyonel) Brown hareketi ile tanımlanabileceği görülmüştür.

Kaydedilmiş Kuzey-Güney yönündeki DU verilerinin Doğu-Batı yönündekilerle çok benzer olması (Şekil 6) bu bölgedeki doğal uçlaşma verilerinin yön bağımlı olmadığını göstermektedir. Bu benzerlik nedeniyle, Doğu-Batı yönlü kayıtlar için yapılmış analizlerden elde edilen sonuçların diğer yön için de geçerli olacağı söylenebilir.

Bilindiği üzere mevsimsel değişimlerin DU verilerine etkileri büyüktür. Sürekli gözlemler ile bu etkileri izlemek kolaylaşır. Bu etkileri incelemek amacıyla, iki yıllık süreç içinde ölçülen doğal uçlaşma değerlerinin hesaplanan günlük ortalamaları, yine bu alanda ölçülen toprak altı sıcaklıkları ve bölgesel yağış verileri ile karşılaştırılmak üzere grafiklenmiştir. Genel olarak, toprak altı sıcaklıkları ve DU kayıtları oldukça benzer bir trendsunmaktadır. Bu da sıcaklıkla DU'nın doğru orantılı değiştiğini göstermektedir. DU trendindeki anlık değişimlerin ise özellikle yoğun yağışlar ile birlikte olduğu gözlenmiştir. Yağış almayan/az alan 2013 yılı Haziran-Eylül ayları ve 2014 yılı Haziran-Ekim aylarında ölçülen DU verileri -50mV civarında ve stabile yakın seyretmekteyken bu iki yılın yağışlı olan diğer aylarında yaklaşık [-100 mV, -200mV] değerleri arasında ani değişimler sunmuştur. Sistemin kuyu açılması, yağış rejiminin değişmesi, depremler ile basınç dağılımının değişmesi gibi durumlar dışında mevcut potansiyelini sonraki yıllarda da sürdürmesi olasıdır. Ölçülen DU seti çevresel depremlerle de karşılaştırılmıştır. Seçilen zaman aralığının ilk aylarındaki ardarda olan yoğun depremlere rağmen DU değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bölgede en büyük deprem 5.1 büyüklüğünde Ege Denizinde 06.12.2014 tarihinde olmuştur. Aynı tarihte yağışın da çok olması DU verilerine bu depremin etkisinin tartışılmasına imkan vermemektedir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, deprem ile olası ilişkinin spektrum ortamında incelenmesi planlanmaktadır.

Kocadağ volkaniklerinin kırıklı bir akifer olması ve bölgede yüzey beslenmesinin yoğun olması bu bölgede sızma olayının etkin olmasına neden olmuştur. Bölgesel yağışların olmadığı süreçte bile akiferin suya doygun olduğu, kurak dönemlerde saptanan -50mV civarındaki DU değerlerinden anlaşılmaktadır. Yağışlı süreçte akma geriliminin daha büyük negatif değerlerde seyretmesi akiferin ikincil geçirgenliğinin yüksek olmasının bir kanıtıdır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, DU verilerinin geçmişteki değerlerine ve mevsimsel trende oldukça bağımlı olduğu söylenebilir. Ölçülen DU serisinin akma potansiyeli türünde olduğu ve çalışma alanındaki kırıklı serbest akifer özelliğinde olan Kocadağ volkaniklerinin yüzey süzülmeleri ile beslendiği saptanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Nur SUNGURLU'nun Yüksek Lisans tez çalışmasının bir kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan ekipmanlar,

Dokuz Eylül Üniversitesi'nin özgelirleri ile, 2009.KB.FEN.16 (2008-75) numaralı ve "Sürekli Jeofizik Gözlemlerle Mevsimsel ve Sismolojik değişimlerin Yeraltına Etkilerinin İncelenmesi" adlı Bilimsel Araştırma Proje kapsamında edinilmiştir. Bu nedenle, Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

[1] Di Maio, R., Mauriello, P., Patella, D., Petrillo, Z., Piscitelli, S., Siniscalchi, A., Veneruso, M. 1997. Self-Potential, Geoelectric and Magnetotelluric Sstudies in Italian Active Volcanic Areas, Annali di Geofisica, Cilt. 40, s. 519–537.

[2] Cuomo, V., Lapenna, V., Macchiato, M., Telesca, L. 2000. On the Time Dynamics of Geoelectrical Signals Recorded in a Seismic Area of Southern Apennine Chain (Italy), Phys.Chem.Earth(A), Cilt. 25, 3, s. 227-232. DOI : 10.1016/S1464-1895(00)00037-5.

[3] Balasco, M., Lapenna, V., Telesca L. 2002. $1/f_a$ Fluctuations in Geoelectrical Signals Observed in a Seismic Area of Southern Italy, Tectonophysics, Cilt. 347, s. 253-268. DOI: 10.1016/S0040-1951(02)00062-8

[4] Telesca, L., Balasco, M., Lapenna V. 2007. Investigating the Time-correlation Properties in Self-potential Signals Recorded in a Seismic Area of Irpinia, Southern Italy, Science Direct Chaos, Solitons and Fractals, Cilt. 32, s. 199–211. DOI: 10.1016/j.chaos.2005.10.084

[5] Colangelo, G., Lapenna, V., Perrone, A., Pisctelli, S., Telesca, L. 2006. 2D Self-Potential tomographies for studying groundwater flows in the Varco d'Izzo landslide (Basilicata, southern Italy), Engineering Geology, Cilt. 88, s.274-286. DOI: 10.1016/j.enggeo.2006.09.014

[6] Telesca, L., Lapenna, V., Hattori K. 2004. Pricipal Component Analysis of Geoelectrical Signals Measured in the Seismically Active Area of Basilicata Region (Southern Italy), Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 4, s. 663–667. DOI: 10.5194/nhess-4-663-2004

[7] Sındırgı, P., Kaftan, İ. 2013. Investigating The Geoelectric Fluctuations Measured in İzmir-Urla Demircili Village (Western Turkey) with Artificial Neural Networks. EGU General Assembly 2013, 07-12 April, Vienna.

[8] Telesca, L., Colangelo, G., Lapenna, V. , Macchiato, M. 2003. Monofractal and Multifractal Characterization of Geoelectrical Signals Measured in Southern Italy. Chaos, Solutions and Fractals, Cilt. 18 ,s. 385–399. DOI: 10.1016/S0960-0779(02)00655-0

[9] Telesca, L., Lovallo, M., Amin Mohamed, A. E.-E., El Gabry, M., El-hady, S., Abou Elenean, K.M., ElShafey Fat ElBary, R. 2012. Investigating the Time-Scaling Behavior of the 2004–2010 Seismicity of Aswan Area (Egypt) by Means of the Allan Factor Statistics and the Detrended Fluctuation Analysis, Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 12, s. 1267–1276. DOI : 10.5194/nhess-12-1267-2012

[10] Theoharatos, C., Ifantis, A., Laskaris, N.A., Economou, G. 2008. Charting of Geoelectric Potential Signal Dynamics Via Geometrical Techniques and its Possible Relation to Significant Earthquakes in Western Greece, Computers & Geosciences, Cilt. 34, s. 625–634. DOI: 10.1016/j.cageo.2007.06.006

[11] Sındırgı, P. 2012. Sürekli Jeofizik Gözlemlerle Mevsimsel ve Sismolojik Değişimlerin Yeraltına Etkilerinin İncelenmesi. Bilimsel Araştırma Projesi (2009.KB.FEN.16 (2008-75)), D.E.Ü., İzmir.

[12] Öncel, A.O. ve Alptekin, Ö. 1995. Fraktal Dağılım ve Sismolojideki Uygulamaları, Jeofizik, Cilt. 9 (10), s. 311-316.

[13] Riberio, R.A., Mata, M.V.M., Lucena, L.S., Fulco, U.L., Corso, G. 2014. Spatial Analysis of Oil Reservoirs using Detrended Fluctuation Analysis of Geophysical Data, Nonlinear Processes Geophysics, Cilt. 21, s. 1043–1049. DOI: 10.5194/npg-21-1043-2014

[14] Enescu, B., Ito, K., Radulian, M., Popescu, E, Bazacliu, O. 2005. Multifractal and Chaotic Analysis of Vrancea (Romania) Intermediate-depth Earthquakes: Investigation of the Temporal Distribution of Events, Pure and Applied Geophysics, Cilt. 162, s. 249–271. DOI : 10.1007/s00024-004-2599-x

[15] Telesca, L., Lovello, M. 2008. Investigating Non-Uniform Scaling Behaviour in Temporal Fluctuations of Seismicity, Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 8, s. 973–976. DOI: 10.5194/nhess-8-973-2008

[16] Telesca, L., Matcharashvili, T., Chelidze, T., Zhukova, N., Javakhishvili, Z. 2013. Investigating the Dynamical Features of the Time Distribution of the Reservoir-Induced Seismicity in Enguri area (Georgia), Natural Hazards, Cilt. 77 (1), s. 117–125. DOI :10.1007/s11069-013-0855-z

[17] Varotsos, P. A., Sarlis, N. V., Skordas, E. S. 2014. Study of the Temporal Correlations in the Magnitude Time Series before Major Earthquakes in Japan, Journal of Geophysical Research: Space Physics, Cilt. 119, s. 9192–9206. DOI: 10.1002/2014JA020580

[18] Tsekov, M., Peneva, E. 2016. Detrended Fluctuation Analysis of Climate and Seismic Data: Examples from Bulgarian Data, 3rd National Congress on Physical Sciences, 29 Sep. – 2 Oct., Sofia, 1-9.

[19] Sborshchikovi, A., Chelidze, T., Zhukova, N., Mepharidze, E., Matcharashvili, T. 2016. The Variation of Scaling Features of Earthquakes Temporal and Spatial Distribution in Caucasus Area, International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering, s. 91-94. DOI: 10.7763/IPCBEE. 2016. V91. 14

[20] Del Pin, E., Carniel, R., Tarraga, M. 2008. Event Recognition by Detrended Fluctuation Analysis: An Application to Teide–Pico Viejo Volcanic Complex,Tenerife, Spain, Chaos, Solitons and Fractals, Cilt. 36(5), s. 1173–1180. DOI: 10.1016/j.chaos.2006.07.044

[21] Lachowycz, S.M., Pyle, D. M., Mather, T.A., Varley, N. R., Odbert, H.M., Cole, P.D., Reyes-Davila, G. A. 2013. Long-range Correlations Identified in Time-Series of Volcano Seismicity during Dome-Forming Eruptions using Detrended Fluctuation Analysis, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 264, 197–209. DOI : 10.1016/j.jvolgeores.2013.07.009

[22] Nenovski, P., Blagoeva, I., Vellante, M., Villante, U., Schwingenschuh, K., Boudjada, M., Wesztergom, V. 2007. Identification of Sources of Geomagnetic Variations Using Detrended Fluctuation Analysis

(DFA), WDS'07 Proceedings of Contributed Papers, Prague, 5-8 June, Part II, 93–100.

[23] Chamati, M., Nenovski, P., Vellante, M., Villante, U., Schwingenschuh, K., Boudjada, M., Wesztergom, V. 2009. Application of DFA Method to Magnetic Field Data from Segma Array, Bulgarian Geophysical Journal, Cilt. 35, s. 3-16.

[24] Skordas, E. S. 2017. Non-uniform Scaling of the Magnetic Field Variations Before the Mw 9.0 Tohoku Earthquake in 2011. https://arxiv .org /abs/1704.07134 (Erişim Tarihi : 09.10.2019).

[25] Akçığ, Z., Pınar, R. 1990. Gravite Verilerine Güç Spektrumu Yönteminin Kayan Pencereli Uygulaması. Jeofizik, Cilt. 4, s.41-48.

[26] Ramírez-Rojas, A., Flores-Márquez, E.L., Guzmán-Vargas, L., Márquez-Cruz, J., Pavía-Miller, C. G., Angulo-Brown, F. 2007. A Comparison of Ground Geoelectric Activity between Three Regions of Different Level of Seismicity, Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 7, s. 591–598. DOI: 10.5194/nhess-7-591-2007

[27] Telesca, L., Lovallo, M., Ramírez-Rojas, A., Angulo-Brown, F. 2008. Non-Uniform Scaling Behavior in Self-Potential Earthquake-Related Signals, World Scientific Publishing Company, Fluctuation and Noise Letters, Cilt. 8 (3–4), s. 261–267. DOI: 10.1142/S0219477508005100

[28] Telesca, L., Lovallo, M., Ramírez-Rojas, A., Angulo-Brown, F. 2009. Scaling Instability in Self-Potential Earthquake-Related Signals. Physica A, Cilt. 388 , s. 1181-1186. DOI: 10.1016/j.physa.2008.12.029

[29] Ramírez-Rojas, A., Muñoz-Diosdado, A., Pavía-Miller, C. G., Angulo-Brown, F. 2004. Spectral and Multifractal Study of Electroseismic Time Series Associated to the Mw=6.5 Earthquake of 24 October 1993 in Mexico. Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 4, s. 703–709. DOI: 10.5194/nhess-4-703-2004

[30] Flores-Márquez, L., Márquez-Cruz ,J., Ramírez-Rojas ,A., Galvez-Coyt ,G., Angulo-Brown, F. 2007. A Statistical Analysis of Electric Self-Potential Time Series Associated to Two 1993 Earthquakes in Mexico. Natural Hazards and Earth System Sciences, Cilt. 7, s. 549–556. DOI: 10.5194/nhess-7-549-2007

[31] Filiz, S. ve Tarcan, G. (1990). Gülbahçe Körfezi güneyindeki jeotermal alanın hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopsal incelenmesi, Turkish Association of Petroleum Geologist Bulletin, Cilt. 2 (1), s. 69–52.

[32] Özel, E. ve Günay C. (2000). Gülbahçe Körfezi'nin Neotektonik Yapısı. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt. 2 (2), s. 27-38.

[33] Uzelli, T., Baba, A., Mungan, G. G., Dirik, R. K. ve Sözbilir, H. (2017). Conceptual model of the Gülbahçe geothermal system, Western Anatolia, Turkey: Based on structural and hydrogeochemical data. Geothermics, Cilt. 68, s. 67–85. DOI : 10.19111/bulletinofmre.581658

[34] Pamukçu, O., Gönenç T., Sındırgı, P., Baba, A. 2014. Application of geophysical methods in Gulbahce Geothermal Site, Urla- Izmir, Western Anatolia. Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece ss251-265. Baba, A., Bundschuh, J., Chandrasekaram, D., ed. 2014. Sustainable Energy Developments Series, Geothermal Resources of Aegean Region, CRC Press, UK, 336s.

[35] Gök E., Polat O. 2014. An Assessment of the Microseismic Activity and Focal Mechanisms of the Izmir (Smyrna) Area from a New Local Network (IzmirNET). Tectonophysics, Cilt. 635, s. 154-164. DOI: 10.1016/j.tecto.2014.08.003

[36] Drahor, M. G., Berge, M.A. 2017. Integrated Geophysical Investigations in a Fault Zone Located on Southwestern Part of İzmir City, Western Anatolia, Turkey. Journal of Applied Geophysics, Cilt. 136, s. 14–133. DOI : 10.1016/j.jappgeo.2016.10.021

[37] Özer, Ç., Polat, O. 2017. İzmir ve Çevresinin 3-B Kabuk Hız Yapısı. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Cilt. 32 (3), s. 733-747. DOI: 10.17341/gazimmfd.337620

[38] Ward, L.M., Greenwood P.E. 2007. 1/f noise. http://www.scholarpedia.org/article/1/f_noise, (Erişim Tarihi: 10.10.2019).

[39] Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., Goldberger, A. L. 1994. Quantification of Scaling Exponents and Crossover Phenomena in Nonstationary Heartbeat Time Series. Chaos, Cilt. 5 (1), s. 82-7. DOI : 10.1063/1.166141

[40] https://www.tandd.com/product/support/vr-71.html#verup (Erişim Tarihi: 04.10.2019).

[41] https://www.mcmiller.com/accuref-30-copper/copper-sulfate-14627 (Erişim Tarihi: 04.10.2019).

[42] https://tandd.com/product/tr51i/ (Erişim Tarihi:22.01.2020)

[43] Balasco M., Chianese D., Di Bello G., Lapenna V. 2002. A New Prototype of a Remote Station for the Monitoring of Geoelectrical Parameters in Seismic Active Areas. Subsurface Sensing Technologies and Applications, Cilt. 3(1), s. 35-57. DOI: 10.1023/A:1014058229309

[44] https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu (Erişim Tarihi:22.01.2020)

[45] Jardani, A., Dupont, J.P., Revil, A. 2006. Self-potential Signals Associated with Preferential Groundwater Flow Pathways in Sinkholes, Journal of Geophysical Research, Cilt. 111, B09204, doi:10.1029/2005JB004231

[46] https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace (Erişim Tarihi:23.01.2020)

[47] Beran, J. 1994. Statistics for Long-Memory Processes. CRC Press, Florida, 315s.