

Çok Düşük Frekanslı Sinyallerden Yıldırım Kaynaklı Elektron Yağışı Olaylarının Belirlenmesi

Murat CANYILMAZ*, Mehmet YAŞAR, Esat GÜZEL
Fırat üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE
*mcanyilmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 22.02.2017; Kabul/Accepted: 28.04.2017)

Özet

Bu çalışmada, alt iyonkürede yayılan VLF sinyallerinde oluşan yıldırım kaynaklı olayları otomatik olarak tespit etmek amacıyla dalgacık dönüşümü kullanılarak bir MATLAB yazılımı gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımın çıktıları ile gerçek sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılarak yazılımın güvenilirliği test edilmiştir. Sonuç olarak her ikisinin de aynı güven aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: VLF sinyalleri, Dalgacık dönüşümü, İstatistiksel analiz

Determination of the Lightning-Induced Electron Precipitation Events from the Very Low Frequency Signals

Abstract

In this study, a MATLAB software with using wavelet transform was carried out to detect the effects of lightning events automatically on the VLF signals propagating at the subionosphere. The reliability of the software has been tested by statistically comparing the actual results with the outputs of this software. As a result, it has been found that both of them are in the same confidence interval.

Keywords: VLF signals, Wavelet transform, Statistical analysis

1. Giriş

Çok düşük frekanslı (VLF) radyo dalgaları (3–30 kHz) Yer-İyonküre dalga kılavuzu olarak adlandırılan yer yüzeyi ile alt iyonküre arasındaki bölgede yayılırlar. VLF Uzaktan Algılama (VLF Remote Sensing) tekniği genellikle alt iyonkürede oluşan bölgesel karışıklıkların konumlarını ve geçici yapılarını açıklamak amacıyla kullanılır. VLF teknikleri kullanılarak; meteor yağmurları, güneş, nükleer ve uzaysal gamma ışın patlamaları, Dünya'nın radyasyon kuşaklarındaki yüksek enerjili elektronların orta enlemlerden ve enerjili elektronların auroral bölgelerden iyonküreye girişi ve yıldırımların VLF yayılımına etkilerini belirlemek gibi birçok çalışma yapılabilmektedir[1-5].

Alt iyonkürede iletkenlik değişimlerinin doğrudan ve dolaylı sebebi yük boşalmaları sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalardır. Yıldırımın sebep olduğu elektromanyetik darbeler tarafından yayılan enerji ELF/VLF bandındadır. Bu darbeler VLF radyo atmosferikleri veya 'sferics' olarak bilinirler ve birkaç milisaniyelik zaman diliminde oluşarak çok uzak mesafelere yayılabilirler. Bunların ölçülen özellikleri, yıldırım akımları ve iyonküre özellikleri hakkında bilgi sağlamada kullanılırlar [6,7]. Yıldırımlı fırtınaların sebebi ile ortaya çıkan bu etkiler, ortamdaki elektronların birkaç yüz milisaniye süresince ısınmaları, ~85 km yükseklikte 10–100 sn süren iyonlaşma değişimleri ve elektron sıcaklığındaki değişimler olarak tanımlanabilirler [8-11].

İki tane yıldırım etkili VLF olayı tanımlanmıştır. Bunlar, Erken/Hızlı (Early/Fast) ve Yıldırım etkili elektron yağışı (LEP, Lightning-induced Electron Precipitation) olaylarıdır. Erken/Hızlı VLF olayları, alt iyonküredeki iletkenlik üzerinde bir yıldırım boşalmasının doğrudan etkisi sonucunda oluşur. LEP olayı ise yıldırımın alt iyonküredeki iletkenlik üzerinde dolaylı etkisi sonucunda ortaya çıkar. Yıldırım boşalması sonucunda ortaya çıkan elektromanyetik ısıma manyeto küreye yayılır ve tuzaklanan enerjili elektronlarla etkileşerek bunların alt iyonküreye yağmasına sebep olur ve burada ikinci bir iyonlaşma meydana getirir [12-15]. Bu karışıklar, sinyalinin genliğinde, fazında ani değişimlerle ve sinyalin tekrar normal haline gelmesi için süreyle tespit edilirler.

VLF antenleri ile alınan bu tip sinyaller doğaları gereği oldukça düşük frekanslı olduklarından dolayı gürültüye maruz kalmaları kaçınılmazdır. Bu sebeple sinyal işleme gibi özel uygulamalarda verinin bir şekilde gürültüden ayrıştırılıp anlaşılması gerekmektedir. Bu amaçla tercih edilen yöntem veriyi farklı frekanstaki bileşenlere ayırıştırarak dönüşüm tekniklerinden dalgacık dönüşümü tercih edilmiştir. Dalgacık dönüşümü matematiksel bir fonksiyon olup uygulamalı matematik, sinyal, ses ve görüntü işleme başta olmak üzere birçok farklı alana uygulanabilen bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümü ile bir sinyalin zaman-frekans ifadesi elde edilerek durağan olmayan sinyallerin analiziyle birlikte Fourier dönüşümünün eksik yanları ortadan kaldırılmaktadır [16]. Dalgacık dönüşümünün en önemli üstünlüğü, düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutlarının olmasıdır. Bu sebeple, bütün frekans aralıklarında en uygun zaman-frekans çözünürlüğü elde edilebilmektedir [17]. Dalgacık dönüşümü farklı frekanslarda farklı çözünürlüklerin elde edilmesini sağlayan çoklu çözünürlük tekniklerini kullandığından dalgacık algoritmaları veriyi farklı ölçeklerle ve

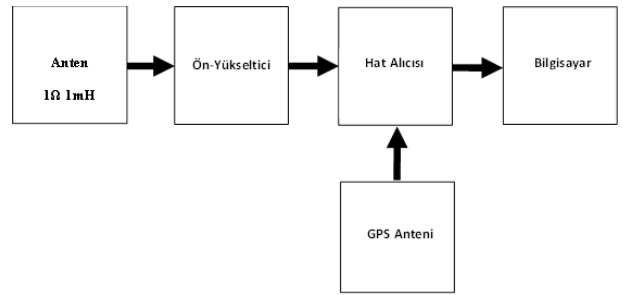
çözünürlüklerle işlerler. Dalgacık seçimi ve dağılım seviyelerinin sayısının tespiti, işaretlerin dalgacık dönüşümü ile analizinde çok önemlidir [18,19].

Bu çalışmada, farklı iki verici istasyondan alınan 2006 yılının ilk altı ayına ait VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri manuel ve otomatik olarak tespit eden bir program geliştirilmeye çalışılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, ikinci bölümde VLF alıcı sistemi, dalgacık dönüşümü ve istatistiksel kuramlar ifade edilmiş üçüncü bölümde VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri otomatik olarak tespit eden yazılım ve dördüncü bölümde ise bu yazılım ile manuel inceleme sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

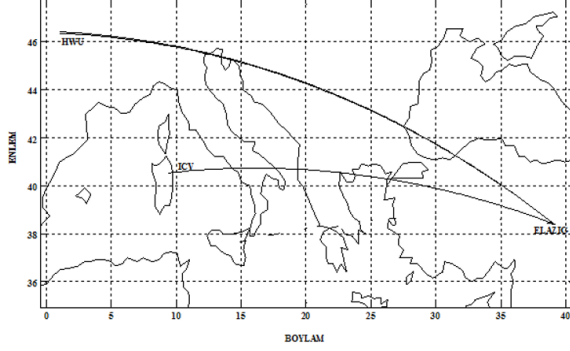
2.1. VLF alıcı sistemi

VLF alıcı sistemi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesinde (38.40° N; 39.12° E) TÜBİTAK104E-005 destekli proje ile kurulmuştur. VLF Alıcı Sistemi sırasıyla; Anten, Ön Yükseltici (pre-amplifier), Hat Alıcısı (Line Receiver), Küresel Konum Sistemi (GPS) Anteni ve bilgisayardan oluşmaktadır. Antende elektromanyetik alan değişimlerinden oluşan elektriksel sinyaller ön yükseltici ile yükseltilerek hat alıcısına gönderilir. Hat alıcısı, sinyali filtreler ve veriyi GPS zaman sinyaliyle senkronize bir şekilde işleyerek bilgisayara gönderilir. Bilgisayardaki yazılım kullanılarak sinyal ve zaman kaydedilir [20]. VLF alıcı sisteminin çalışma prensibini gösteren blok diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. VLF alıcı sistemi blok diyagramı [11].

Şekil 2’de bu çalışmada kullanılan VLF verici istasyonları ile alıcı istasyonun yerleri harita üzerinde gösterilmiştir. Bu iki sinyalin frekansları, çağrı kodları yerleşim yerleri ve alıcıya olan uzaklıkları da Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. VLF vericileri ve alıcısının harita üzerinde gösterimi.

Tablo 1. Verici ile alıcı istasyonun frekans, çağrı kodu, yerleşim yerleri ve aradaki mesafeler

Frekans (Hz)	Çağrı Kodu	Yerleşim	Mesafe (km)
18300	HWU	Le Blanc, Fransa (46° 37' D, 1° 05' K)	3220
20270	ICV	Sardegna, İtalya (40° 55' D, 9° 45' K)	2550
Alıcı	FF	Elazığ, Türkiye (38°40' D, 39° 12' K)	-----

2.2. Dalgacık dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, sinyallerin ve görüntülerin farklı çözünürlük ve ölçeklerde tanımlanmasını sağlayan oldukça kuvvetli bir dönüşüm algoritmasıdır. Herhangi bir fonksiyonun dalgacık dönüşümü Denklem (1)’de verildiği gibi elde edilir[11].

$$WT(a, b) = \langle f(x) \Psi_{a,b}(x) \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (1)$$

Burada, $\Psi_{a,b} = |a|^{-\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ ana dalgacık fonksiyonu olarak adlandırılan, $\Psi(x)$, dalgacık fonksiyonu olup a ölçek, b kaydırma faktörü ve “ Ψ ” ise karmaşık eşlenik işlevini

tanımlamaktadır. Ayrıca Denklem (2)’de verilen kabul edilebilirlik şartının da sağlanması gerekir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(x) dx = 0 \quad (2)$$

2.3. İstatiksel kuramlar

Bilimsel araştırmaların amaçlarından birisi de üzerinde çalışılan değişkenin diğer değişkenlerle olan ilişkisini ve bu değişken üzerinde etkili olan faktörleri belirleyebilmektir. Sayılarla ilgili bilgilerin özetlenmesi ve verilerin tanımlanması için istatistik bilimi kullanılır. Bir veri grubunu ifade etmek için bir yerleşim ve bir de değişim ölçütü tanımlamak gereklidir. Yerleşim ölçüsü verilerin almak istediği değerleri gösterirken değişim ölçüsü bu yerleşim etrafındaki dağılımı gösterir[21]. Genellikle kullanılan merkezi yerleşim aritmetik ortalama olup bunun yanında değişim olarak standart sapma ve standart hata verilir. Standart sapma bir veri grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu söyler. Standart hata ise bir veri grubunda seçilecek aynı büyüklükteki örneklemelerin ortalamalarının yayılma ölçütüdür [22]. Aritmetik ortalama, standart sapma ve standart hata formülleri Denklem (3), (4) ve (5) de sırasıyla verilmiştir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$\text{Standart Hata} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

3. Sonuçlar

VLF vericilerinden gelen sinyaller her gün alıcı tarafından 13:05 UT’den başlayıp ertesi gün saat 06:05 UT’ye kadar 17 saat süreyle kayıt yapılmaktadır. VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri sağlıklı bir şekilde tanımlamak için genellikle sinyaller manuel olarak yani gözle bakılarak tespit edilmektedir. Bir sinyalin bir günlük değişimini incelemek demek 17 saatlik bir sinyal değişimini sinyali uygun yazılımlar ile büyültüp küçültürük o sinyal üzerinde yorumlar yaparak anlamlı veriler çıkartmak demektir.

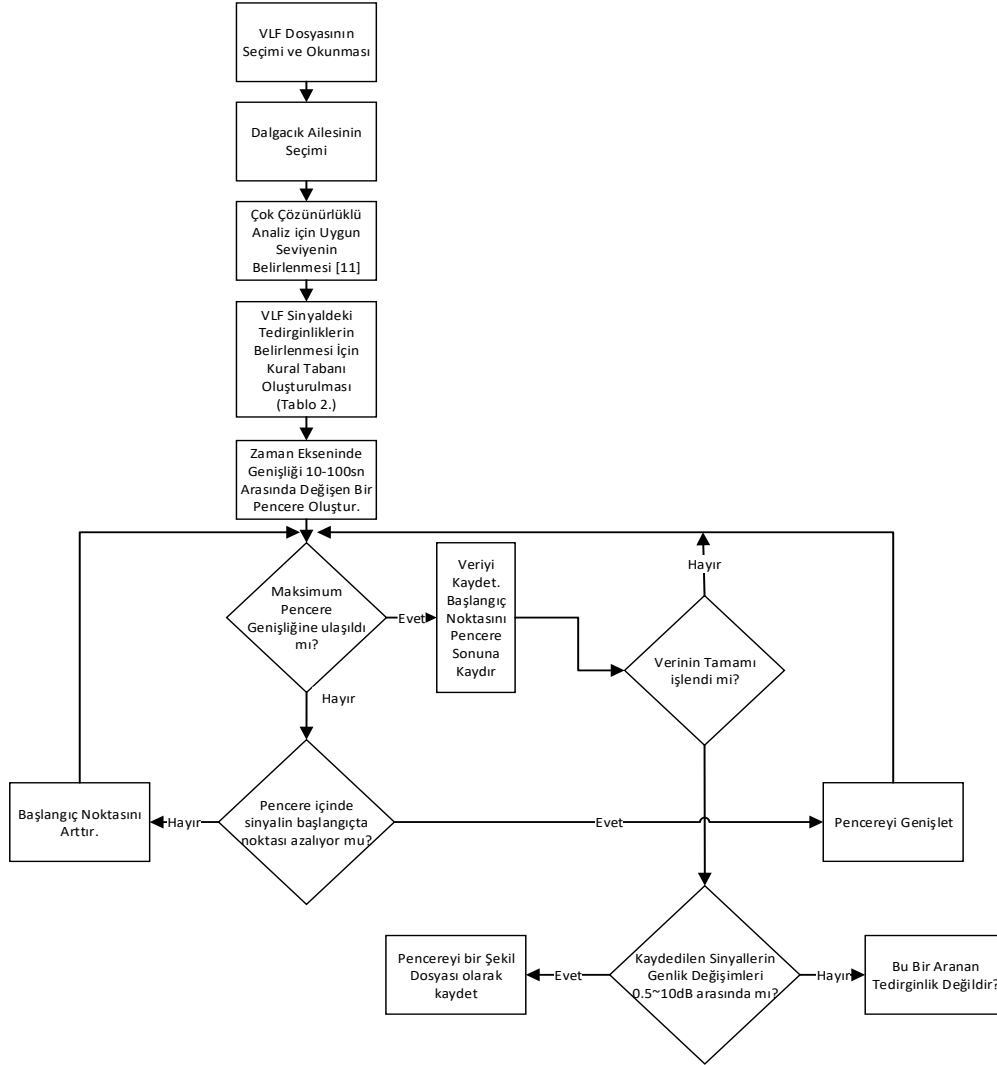
VLF sinyallerinde oluşan tedirginliklerin temel sebepleri genelde E/F ve LEP olaylarıdır. Bu olaylar geçici karakteristikleri tarafından tanımlanır. Bunlar, oluşum süresi, oluşum şiddetindeki değişim miktarı ve geri dönüş zamanıdır. Karakteristiklerin azami ve asgari değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’de bahsedilen karakteristiklere ait temel özellikleri dikkate alan ve MATLAB ortamında geliştirilen bir program ile sinyaldeki tedirginlikler tespit edilmiş ve tespit edilen olayların olduğu sinyal bölgesi sinyalden ayrılıp

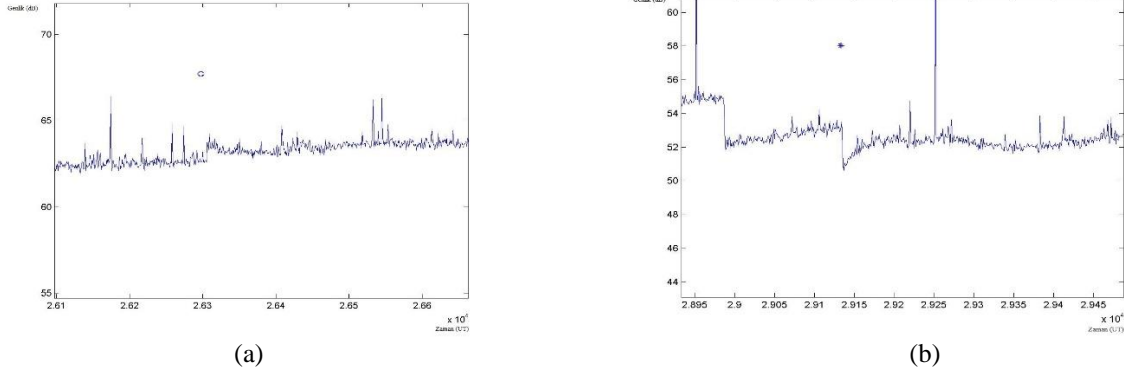
büyütülerek bir klasörde toplanmış ve kullanıcının yorumuna bırakılmıştır. Bu programa ait akış şeması Şekil 3’te ve her iki tedirginliğe ait örnek çıktılar Şekil 4’te verilmiştir.

Tablo 2. VLF sinyalinde oluşan tedirginliklerin karakteristikleri ve değişim aralıkları

Olay Karakteristikleri	Değişim Aralıkları
Oluşum Süresi	$0.5 \text{ sn} \leq t_d \leq 5 \text{ sn}$
Oluşum Şiddetindeki Değişim Miktarı	$0.5 \text{ dB} \leq \Delta A \leq 10 \text{ dB}$
Geri Dönüş Zamanı	$10 \text{ sn} \leq t_r \leq 100 \text{ sn}$



Şekil 3. Program akış şeması.



Şekil 4. (a) HWU verici istasyonuna ait 12.05.2006 tarihli otomatik tespit edilen VLF sinyal tedirginliği. **(b)** ICV verici istasyonuna ait 01.03.2006 tarihli VLF sinyal tedirginliği.

İnceleme yapılan dönem için program test edilmiş ve elde edilen sonuçlar manuel (gözle) olarak yapılan gözlem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Her iki istasyon için hem program hem de manuel olarak tespit edilen olay sayısı

AYLAR	PROGRAM		MANUEL	
	HWU	ICV	HWU	ICV
OCAK	132	28	128	20
ŞUBAT	110	78	71	107
MART	17	74	10	86
NİSAN	45	35	31	21
MAYIS	30	37	19	23
HAZİRAN	37	15	35	9

4. Tartışma

İstatiksel olarak gruplar birbirleri ile karşılaştırılacak olursa ortalama \pm standart hata değerleri kullanılır. Ortalama ± 1 (standart hata) ortalama değer in %68 olasılıkla “ ± 1 (standart hata)” kadar sağa-sola yayıldığını gösterir. Ortalama ± 2 (standart hata) %95 olasılığı ve Ortalama ± 3 (standart hata) ise %99 olasılığı temsil eder. Tablo 4’teki değerler incelenecek olursa her iki istasyon içinde hem program hem de manuel hesaplamalarda güven aralıklarının aynı sayı doğrusu üzerinde birbirlerini kestikleri tespit edilmiştir. Dolayısıyla olay sayısı değerleri birbirlerinden istatiksel olarak farklı değildir. Sonuç olarak her iki grubun da ortalamaları

birbirinden farklı değildir ve gruplar arasında fark yoktur denilebilir.

Tablo 4. İki grup arasındaki istatistiksel analiz sonuçları

	PROGRAM		MANUEL	
	HWU	ICV	HWU	ICV
Ortalama	61.83	44.5	49	44.3
Standart sap.	43.14	23.38	40.13	37.65
Standart hata	117.6	9.54	16.38	15.36
Ort ± 1 (S. H.)	44.23	34.96	32.62	28.97
	79.43	54.04	65.38	59.69

Yapılan bu hesaplamalar ışığında, gerçekleştirilen bu yazılım sayesinde yaklaşık 8 saat süren ve gözle inceleme sonucunda arada kalan bazı tedirginliklerin dikkate alınmaması gibi problemler aşarak özellikle süre bakımından 1 saat gibi oldukça düşük zamanlara ulaşılmıştır. Bu analizlerin hızlı yapılabilmesi VLF sinyalleri ile depremler arasındaki ilişkinin incelenmesi ve Türkiye üzerinde oluşan yıldırımların tespiti gibi birçok çalışmaya hız kazandıracaktır.

5. Kaynaklar

1. Wait, J.R. (1964). The relation between VLF propagation and D-layer characteristics, *I.E.E.E. Transactions on Antennas and Propagation*, **12(2)**: 239-240.
2. Cummer, S.A., Inan, U.S. and Bell, T.F. (1998). Ionospheric D region remote sensing using VLF radio atmospheric. *Radio Science*, **33**: 1781-1792.
3. Cummer, S.A., Bell, T.F., Inan, U.S. and Chenette, D.L. (1997). VLF remote sensing of high energy

auroral particle precipitation. *J. Geophys. Research*, **102**: 7477–7484.

4. Inan, U.S., Lehtinen N.G., Lev-Tov S.J., Johnson M.P., Bell, T.F. and Hurley K. (1999). Ionization of lower ionosphere by gamma rays from a magnetar: Detection of a low energy (3-10 keV) component. *Geophysical Research Letters*, **26**: 3357-3360.

5. Yaşar, M. (2012). VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikler ile jeomanyetik indeksler arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

6. Johnson, M.P. (2000). VLF Imaging of lightning-induced ionospheric disturbances, *Phd Thesis, Stanford University, Stanford*.

7. Cummer, S.A. (1997). Lightning and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospherics, *Phd Thesis, Stanford University, Stanford*.

8. Inan, U.S., Bell, T.F. and Rodriguez, J.V. (1991). Heating and ionization of the lower ionosphere by lightning. *Geophysical Research Letters*, **18**: 705-708.

10. Inan, U. S., Schafer, D. C., Yip, W. Y. and Orville, R. E. (1988). Subionospheric VLF signatures of nighttime D region perturbations in the vicinity of lightning discharges. *J. Geophysical Research*, **93**: 11455–11472.

11. Canyılmaz, M., Türk, M. and Güzel, E. (2016). Uzaktan algılanan düşük frekanslı sinyallerin gürültülerinin giderilmesinde dalgacık dönüşümü ailelerinin performanslarının incelenmesi ve karşılaştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **28(1)**: 73-77.

12. Inan, U.S., Pasko, V.P. and Bell, T.F. (1996). Sustained heating of the ionosphere above thunderstorms as evidenced by early/fast VLF events. *Geophysical Research Letters*, **23**: 1067-1070.

13. Taranenko, Y.N., Inan, U.S. and Bell, T.F. (1993). Interaction with lower ionosphere of electromagnetic pulses from lightning: Excitation of optical emissions. *Geophysical Research Letters*, **20**: 2675-2678.

14. Atıcı, R., Güzel, E., Canyılmaz, M. and Sagır, S. (2016). The effect of lightning-induced electromagnetic waves on the electron temperatures in the lower ionosphere. *Kuwait Journal of Science*, **43(4)**: 143-149.

15. Canyılmaz, M., Güzel, E., Yeşil, A. and Ünal, İ. (2005). VLF Perturbations due to Lightning over Elazığ. *Balkan Physics Letters*, **13(2)**: 65–71.

16. Güzel, E., Canyılmaz, M. and Türk, M. (2011). Application of wavelet-based denoising techniques to remote sensing very low frequency signals. *Radio Science*, **46**: 1-9.

17. Gür, D., Türk, M., Canyılmaz, M. and Güzel, E. (2013). Uzaktan algılanan VLF sinyallerindeki düzensizliklerin giderilmesi için tasarlanan arabirim ile farklı dalgacık ailelerinin ve ayrıştırma seviyelerinin karşılaştırılması. *Otomatik Kontrol Ulusal Kongresi, Bildirileri (26-28 Eylül)*, Malatya, 1215-1218.

18. Daubechies, I. (1990). The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Transactions on Information Theory*, **36(5)**: 961-1005.

19. Mallat, S. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *I.E.E.E.-Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **11(7)**: 674-693.

20. Cohen, M. (2004). 2005 VLF Receiver Documentation” *Star Laboratory VLF Group, Stanford University*.

21. Özbek, H. and Keskin, S. (2007). Standart Sapma mı Yoksa Standart Hata mı? *Van Tıp Dergisi*, **14(2)**: 64-67.

22. Sümbüloğlu, K. and Sümbüloğlu V. (2002). *Biyoistatistik. 10. Baskı, Hatiboğlu Yayınları, Ankara*.