

Öncü Deprem Habercisi Analizi için Otonom VLF Sinyali Hata Ayıklama Algoritması

Mustafa ULAŞ^{1*}, Hasan Hüseyin BALIK², Fikret ATA³

¹ Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

¹ mustaufaulas@firat.edu.tr, ² hasanbalik@gmail.com, ³ fata@bingol.edu.tr

(Geliş/Received: 11/02/2021;

Kabul/Accepted: 23/02/2021)

Öz: Son yıllarda depremler hakkında öncü haberci tespiti ve analizi çalışmaları artmaktadır. Yapılan araştırmalar ile depremlerin oluşumundan önceki evrelerde bazı anormalliklerin gerçekleştiği örnekler ile ispatlanmıştır. Bu araştırmaya konu olan çalışma, Çok Düşük Frekanslı (VLF) işaretlerin iyonküre üzerinden iletimi esnasında yaşanan kayıpları kullanarak depremleri önceden tahmin sistemleri üzerine bir inceleme ortaya koymuştur. Vericiden üretilip, alıcı tarafında elde edilen VLF işareti, iletim ortamında yaşamış olduğu kayıpları da bir bilgi olarak taşımaktadır. Bu kayıplara sebep olarak birçok parametre sayılabilmektedir. Bu çalışma içerisinde depremlerden önceki zaman dilimlerinde gerçekleşen etkenler incelenmiştir. Veri madenciliği bakış açısı ile yoğun veri kümesi içerisindeki saklı bulunan bilgilerin analizini barındıran bir çalışma ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Uygulama geliştirme ve analiz yapma konusunda engel teşkil eden en önemli sorun, yığılna anlamsız veri kümelerinin, kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesini sağlayan ve içerisindeki arızalı işaretlerin ayıklanmasını gerçekleştiren algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, gün dönümü metoduna ile deprem öncü habercisi tespitini gerçekleştirmek için VLF verilerini ön işlemeden geçiren otonom bir algoritma ortaya koyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Veri madenciliği, kural tabanlı tahmin, VLF sinyalleri, deprem tahmini.

Autonomous VLF Signal Debug Algorithm for Leading Earthquake Precursors Analysis

Abstract: In recent years, studies of detecting and analyzing precursors about earthquakes have been increasing. It has been proven by the researchers that some anomalies occurred in the phases before the occurrence of earthquakes. The study that is the subject of this research has presented a study on earthquake prediction systems using the losses experienced during the transmission of Very Low Frequency (VLF) signals over the ion sphere. The VLF sign, which is produced from the transmitter and obtained on the receiver side, also carries the losses experienced in the transmission medium as information. Many parameters can be counted as the cause of these losses. In this study, the factors that occurred before earthquakes were examined. In this study, the factors that occurred before earthquakes were examined. With the perspective of data mining, a study that includes the analysis of the information contained in the intensive data set is tried to be put forward. The most important problem that poses an obstacle to application development and analysis is that algorithms have been developed that enable the conversion of heaps of meaningless data sets to usable information and eliminate the defective signs in them. In this study, an autonomous algorithm that preprocesses VLF data to perform earthquake precursor detection using the Sunset/Sunrise method is proposed.

Key words: Data mining, rule-based prediction, VLF signals, earthquake prediction.

1. Giriş

Yerkabuğunda kırılma olarak gerçekleşen bu olay, yeryüzünde yaşanan dalgalanma ile sarsıntı olarak hissedilmektedir. Yapısal değişim sadece yerkürenin şekli ile sınırlı kalmamakta, insanoğlunun hayatını da şekillendirmektedir. 17 Ağustos 1999 depremi sonucunda 20 binin üzerinde insan hayatını kaybetmiştir. Sadece ülkemizde son 65 yıl içinde meydana gelen depremlerde 60 binin üzerinde insanımız hayatını kaybetmiştir. Günümüzde depremlerin yıkıcı etkileri, önceden tahmini konusunda yapılan çalışmaların sayısını artırmıştır. Yıkıcı bir depremin önceden tahmin edilebilmesi, alınacak önlemler ile kayıpların azalması sonucunu doğurduğu için araştırmacıların ilgi odağı olmuştur [1].

Bu metodların üzerine yapılan araştırmalar hala devam etmektedir. Ancak en küçük hatalı cevaba tahammülün olamayacağı bu alanda, henüz tam anlamıyla güvenilir sonuçlar üreten bir yöntem tespit edilememiştir. Sunulan yöntemlerin tamamı derin olmayan fay kırıklarında geçerli analiz şekilleridir. Derinlerde gerçekleşen depremlerin etkileri bu yöntemler ile tespit edilmesi oldukça zordur. Yapılan çalışmalarda bu sınır mesafenin 100 km olması

* Sorumlu yazar: mustaufaulas@firat.edu.tr Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0002-0096-9693 ² 0000-0003-3022-100X ³ 0000-0003-1100-6179

önerilmiştir. 100 km altında gerçekleşen depremler yüzeysel deprem olarak adlandırılmaktadır [2]. Bu depremlerin iyonküre tedirginliklerine ve bozulmalarına sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca tahmini yapılması beklenen depremlerin 6 şiddetinden büyük olması gerekmektedir. Daha düşük şiddette gerçekleşen depremlerin alt iyonkürede gözlemlenebilir karışıklıklara neden olduğuna dair bir bulguya henüz rastlanmamıştır [3].

Depremlerin önceden tahmini için olası öncü habercilerin ortaya koyulması gereklidir. Öncü haberci tespitine yönelik olarak bilim adamları tarafından yapılmış çalışmalar ve önerilmiş birçok metot vardır [4-8]. M. Hayakawa ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada; Radyo İletişimi ve Radyo Gürültüleri, DC/ULF Tekniği, ELF Tekniği, VLF/LF Tekniği, MF Tekniği ve HF/VHF/SHF Tekniği olarak sıralamıştır [9]. Tahminde kayaç hareketliliğinin ölçülmesine dayalı olan geleneksel yöntemlerin kullanılması alışıla gelmiştir. Ancak bu tarz mekanik ölçüme dayalı sistemlerin kısa vadeli tahminlerde çok kullanışlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Böylece elektromanyetik etkiler yoluyla bir tahmin yöntemi ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmalar ile elektromanyetik olguların geniş frekans aralığında büyük depremler ile ilişkilerini tanımlayan birçok kanıt birikmiştir [10]. Mekanik etkilerin sağladığı veriler ile uzun vadeli olarak depremler hakkında bilgi verebilirken, elektromanyetik dalgalar kısa vadeli olarak bilgi sağlamaktadır. Son on yılda yapılan çalışmalar ile beklenmedik bir şekilde sismik hareketliliklerin iyonküre üzerinde son derece hassas etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir [5].

İncelenen yöntemlerin temel aldığı altyapı iyonkürenin iletim performansı üzerinedir. Vericide üretilen VLF işaretinin alıcıya ulaşana kadar uğramış olduğu kayıplar, aslında ortam davranışının bir sonucudur. Bu ortam davranışı ise çevresel etmenlere bağlı olarak değişmektedir. İyonkürenin iletim performansını değiştiren etmenlerden birinin ise depremler olduğu, yapılan çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur [11-12]. İyonkürede işaretin iletimi esnasında uğradığı kayıpların sebebinin, depremlerden önce yerküreden yayılan gazların ve dünyanın değişen manyetik alanı olduğunu ifade eden çeşitli çalışmalar vardır [8]. İyonküre iletim kapasitesi çevresel faktörlere bağlıdır ve bu faktörlerin etkisi ile paralel bir davranış sergilemektedir. Değişime sebep olan bu faktörler, dünyayı saran atmosferdeki iletişim için en önemli olan katman iyonküreyi de etkilemektedir. Bu etki iyonkürenin içeriği olan serbest elektronlar ve iyonların yoğunluklarının değişmesine sebep olmaktadır. Bu değişim ise çok düşük frekans (VLF) ile gönderilen elektromanyetik işaretlerin üzerinde fark edilebilir değişikliklerin olmasını sağlamaktadır. Tüm bu tetikleyici sistemleri analiz etmek depremleri ve depremlerden önce meydana gelen anomalileri tespit etmek konusunda önemli bilgiler elde etmeyi sağlayacaktır [8]. Bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar yoğunlukla olmasa da devam etmektedir [13-15]. Buradaki çalışmaların yetersizliğinin sebebi, bu verilere olan ulaşım problemi [1].

Tıp ve ekonomi gibi bilimsel alanlarda, ilişkisiz olduğu sanılan veri yığınlarının arasında mantıksal bağlar kurup faydalı cevaplar üretebilen veri madenciliği adımlarının, depremlerin VLF işaretleri üzerindeki öncü haberci bilgisinin keşfi adına katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Yapılan literatür araştırmaları göstermiştir ki, işaretlerin taşıdığı bilgilerin anlamlandırılması ve sınıflandırılmasında çok faydalı sonuçlar üretecek olan veri madenciliği gibi teknikler henüz önerilmemiş ve uygulamaları gerçekleştirilmemiştir. Mevcut yöntemlerin tamamı uygulama ve sonuç üretme süreleri bakımından önerilen yoldan daha avantajsız bir durumdadır. Bir depremin analizi, veri madenciliği adımları baz alınarak oluşturulmuş bir algoritma uygulaması ile karşılaştırılamayacak kadar sorunlu ve uzun süren bir süreçtir. Veri madenciliği adımları ile otomatize edilmiş bir anlamlandırma algoritmasının, çok daha hızlı ve güvenilir sonuçlar vereceği öngörülmektedir

Gerçekleştirilen bu çalışma ile depremlerin öncü habercilerinin tahmini için iyonküreden taşınan VLF işaretleri kullanılmaktadır. VLF işaretlerinden oluşan veri kümesinden anlamlı sonuçlar elde edilmeye çalışılacaktır. Bu sonuca ulaşmak için veri madenciliği adımlarında özellikle Veri seçimi, Veri temizleme ve ön işleme adımları işletecek, anlamlandırma için VLF işaretlerinin yapısına uygun bir algoritma geliştirilecektir.

1.2 Olası Etkenler

Depremlerin oluşumunun tetiklediği birden fazla parametre vardır. Olası etkenlerin ortaya koyulabilmesi için tüm akışın anlaşılabilmesi gerekmektedir.

Fay hatları, yerkürenin tabakalarını oluşturan kayalarda oluşan gerilmenin ani kırılmaları sebep olmasıyla depremleri meydana getirmektedir. Bu durum kayaçların gerginliklerinin takip edilebilmesi ile depremlerinin olası öncü habercileri olan işaretlerin gözlemlenebilmesi sonucunu doğurmaktadır [16].

Fay kırıklarından veya çatlaklarından beklenmedik aşırı radon gazı salınımlarının takip edilmesi, olası deprem öncü habercisi olarak belirtilebilmektedir [6,17]. Radon gazlarının depremlerden önceki zaman dilimlerinde aşırı salınımı ve dünyanın değişen manyetik alanı diğer bir olası öncü haberci tespit yöntem grubunu ortaya koymaktadır [4,8,10,18,19].

Depremlerin oluşumunu tetikleyen magma hareketleri ve yerküre katmanlarının hareketi dünyanın manyetik alanın değişimine sebep olmaktadır [20]. Bu manyetik alan değişimi iyonküre yüksekliğini etkileyecektir [19]. İyonküre yüksekliği VLF işaretinin yansıma yüksekliğini belirleyecek ve üzerindeki beklenmedik değişimler dış

Denklem (1)'de verilen dt_a eşitliği ile hesaplanan, faz veya genliklerden ölçülmüş olan kesim zamanı değerlerinin ortalama kesim zamanı ile olan fark değeridir. Bu denklem ile kesim zamanı ve depremin olduğu seçilen aralıktaki kesim zamanlarının ortalaması farkı alınmaktadır [19].

$$\sigma = \sqrt{(t_a - t_{a-1})^2} \quad (2)$$

Denklem (2)'den elde edilen veriler ile çizilen grafiğin 2σ seviyesinden aşan değerlere sahip olan günler için anormalliklerin gerçekleştiği yaklaşımında bulunulacaktır [4]. Kesim zamanı farklılıkları grafiksel olarak çizilerek, 2σ seviyesinin aşılmadığı test edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda kesim zamanı ve ortalama kesim zamanı farkı deprem den birkaç gün önce 2σ seviyesini aştığı ortaya koyulmuştur [4,11,19,22]. Ayrıca araştırmalar salınım periyodu yaklaşık olarak 10 günü olduğunu da göstermektedir.

3. Veri Madenciliği

3.1. Veri Madenciliğinde Bilginin Keşif Süreci

Veri madenciliğinde, eldeki ham veriden işlenmiş anlamlı verinin oluşturulabilmesi için problemin tanımlanması, verilerin hazırlanması, modelin kurulması ve değerlendirilmesi, modelin kullanılması ve modelin izlenmesi aşamalarının uygulanması gerekmektedir [23]. Bu aşamalar sonunda ham veri yığınından anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Veri madenciliğinde bilginin keşfi sürecini oluşturan birkaç adım bulunmaktadır. Veri Seçimi, Ön İşleme, İndirgeme, Veri Modelleme ve Yorumlama/ Doğrulama bu adımların genel olarak ifade edilmiş halidir. Veri Madenciliğin herhangi bir alana uyarlanması da bazı problemler ile karşılaşmaktadır. Bu problemler veri yığınları üzerinde yapılan analizler ile ortaya çıkarılan anlamlı bilgilerin yanlış sonuçlar üretmesi sonucunu doğurmaktadır. Veri Tabanı Boyutu, Gürültülü Veri, "NULL" Değerler, Eksik Veri ve Dinamik Veri olarak bir kaç sayılabilir. Bu sorunların otonom şekilde algılanması ve mümkünse gerekli düzeltme mümkün değilse sonuca etki etmeyecek şekilde açıklanması bu çalışmanın en önemli sonucudur [1].

3.2. Veri Madenciliğinin VLF İşaretlerine Uygulanması

Yerküre – İyonküre dalga kılavuzu arasında iletilen VLF işaretlerinin taşıdığı bilginin anlamlandırılması için veri madenciliği tekniklerinin kullanılması daha önce uygulama olarak yapılmış bir analiz değildir. Ancak bu elektromanyetik işaret yığınının çok yüksek karışıklık ve yoğun veri boyutuna sahip olması, yapılacak işlemlerin çok kısa sürede veya tam doğrulukla yapılamaması nedeniyle bu çalışmada veri madenciliğinden faydalanılması sonucunu doğurmuştur. VLF verilerinin üzerinde, iletim ortamından kaynaklanan bazı kayıplar ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu kayıpların bazılarının yerküre hareketlilikleri yani depremler ile alakalı olduğu belirtilmiştir [4,12]. Mevcut durumda, VLF işaretleri üzerindeki kayıplardan anlamlı bilgilerin çıkarılması çok sayıda verinin incelenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Veri madenciliği adımları kullanıldığı takdirde bu büyük veri yoğunluğundaki kümeden anlamlı bilgi daha hızlı ve hata olasılığı daha düşük bir şekilde çıkarılabileceği üzerine bir çalışma yapılacaktır. Keşfedilen bilginin, depremler oluşmadan önce gerekli önlem alınması açısından önemi büyüktür. 6 ve üzeri şiddette gerçekleşen depremlerin çok büyük bir kısmı önemli sayıda insan kayıpları ile sonuçlanmaktadır [1].

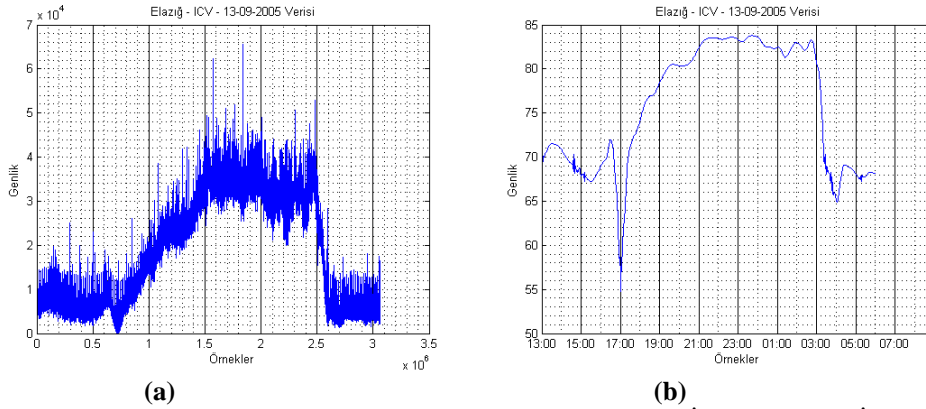
4. Verilerin Elde Edilmesi ve Kayıt Sistemi

VLF işaretlerinin atmosfer ortamında aktarılmasını sağlayan sistem birkaç bileşenden oluşmaktadır. Verici sistem tarafından oluşturulan VLF işaretlerin atmosfer ortamında iletildikten sonra alıcı tarafta tekrar elde edilmesi şeklinde tanımlanabilecek olan yapının bileşenleri olarak; VLF Verici sistemi, VLF Alıcı sistemi, VLF Anteni, Ön yükseltici, Hat alıcısı, GPS anteni ve Kayıt yazılımı tanımlanabilir. VLF veri kayıt sistemi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde kurulu bulunmaktadır. VLF işaretlerinin iletim ortamı olan İyonkürede gerçekleşen atmosferik olayların etkisi üzerine yapılan araştırmalarda kullanılmak üzere Stanford Üniversitesi Star Lab. ile ortaklaşa kurulmuştur. Bu proje TÜBİTAK (Proje No:104E005) desteği ile gerçekleştirilmiştir. Stanford Üniversitesi Star Lab. Elektrik Elektronik Mühendisliği ve Stanford Üniversite ortak çalışma grubudur. Grup, elektromanyetik ve uzaktan algılama, iletişim ve işaret işleme alanlarında araştırma yapmaktadır. Bu grup koordinasyonunda çalışan dünyanın çeşitli noktalarında alıcı ve verici istasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonların ürettiği olduğu VLF işaretlerinin tamamı Star Lab. tarafından internet üzerinden tüm dünyanın kullanımına 2013 yılına kadar sunulmuştur [24]. Sonraki yıllarda Stanford Üniversitesinin veri paylaşımı konusundaki desteği

çekildiği için yeni incelemeler yapılamamıştır. Dünya üzerinde 26 VLF vericisi vardır. Bu verilerden üretilen VLF verileri tüm dünyadaki alıcılar tarafından okunmaktadır.

4.1. Kayıt Sisteminden Üretilen Veriler

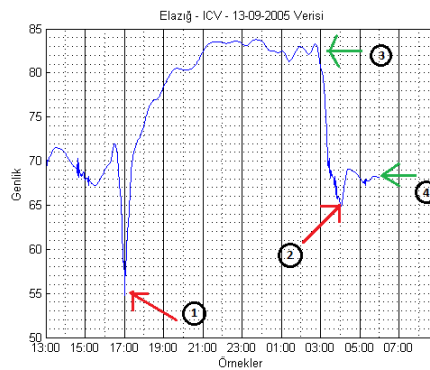
Analog elde edilen VLF işaretleri Analog-Dijital dönüştürücü (ADC) kartları vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu veriler Stanford Üniversitesi VLF grubu tarafından geliştirilmiş Stanford DAQ adlı yazılım vasıtasıyla işlenmektedir. Kayıt formatı, MATLAB veri dosyası olarak seçilmiştir. Veriler iki farklı boyutta ve detayda kaydedilmektedir. Bunlar Dar Bant (NarrowBand) ve Geniş Bant (BroadBand) olarak belirtilebilir. Şekil 2.(a)'da *C.MAT dosyasında alınmış 30600000 boyutundaki data değişkeni ile çizilmiş olan bir örnek VLF işareti bulunmaktadır. Bu işaret üzerinde herhangi bir düzeltme veya örnekleme yapılmamıştır. Bu kayıt, Elazığ alıcı istasyonunda kaydedilmiş ICV VLF gece süresi işaretini ifade etmektedir. Bu veri üzerinden bilgi çıkarılmayacak kadar karmaşıktır. Şekil 2.(a) ve (b)'de çizdirilmiş olan Elazığ-ICV VLF işareti örnekleme frekansının dakikada 1 veriye dönüştürülmüş ve gürültüden arındırılmış hali çizdirilmiştir. Grafik incelendiğinde Şekil 2.(a)'da olduğu gibi karmaşık bir yapıdan uzak, karakteristiklerin rahatlıkla hazırlanacak algoritmalarla çıkarılabileceği bir formata olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Elazığ-ICV 12-13-09-2005 gece süresi VLF işareti (a) İşlenmemiş (b) İşlenmiş

4.2. Genel Veri Karakteristikleri

Verici tarafında üretilen VLF işareti, İyonküreden yansıyarak alıcı tarafında kaydedilmesi sonucunda elde edilen verilere ait bazı genel karakteristikler bulunmaktadır. Şekil 3 incelendiği zaman görülecektir ki genlikler gece ve gündüz sürelerinde farklılık göstermektedir.



Şekil 3. VLF İşaret Karakteristikleri

Gece ve gündüz sürelerinde gerçekleşen iletim ile elde edilen işaret genlikleri Şekil 3'de 3 ve 4 okları ile gösterilmiştir. Gündüz genlik değeri 65-75 dB değerleri arasında değişirken gece bu değer 75-85 dB arasında değişkenlik göstermektedir. Karşılaşılan bu değişim İyonkürenin iletim davranışı ile açıklanabilir bir durumdur.

Gündüz güneş ışınlarının etkisi ile iyonize olan İyonküre, kayıpların daha fazla olduğu bir iletim ortamı davranışı sergilemektedir.

Şekil 3.'de gösterilmiş olan 1-2 okları VLF işaretinde bulunan önemli karakteristiklerden ikisidir. Şekilde görüldüğü üzere gece ve gündüz zamanlarının geçiş dönemlerinde, işaretler üzerinden ani genlik düşüşleri görülmektedir. Bu düşüşler, işaretin en dip oldukları iki zaman dilimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Genliklerde yaşanan bu kayıplar güneş ve iyonküre arasındaki etkileşimden meydana gelmektedir. Gündüz güneş ışınlarının olduğu zaman dilimlerinde işaretler belirli bir genlik aralığı ile iletilirken, güneşin batışı ile İyonkürenin iyonizasyonunda yaşanan ani değişimler iletim ortamındaki kayıpların artmasına sebep olmaktadır. Bu ise yaşanan ani genlik düşüşünün kaynağını teşkil etmektedir. Aynı durum güneşin doğduğu zaman aralığı içinde geçerli olacaktır. 1 numaralı ok ile gösterilen ani düşüş gün batımını simgelerken 2 numaralı ok, güneşin doğuş zamanını işaretlemektedir. Güneşin doğuşu ve batışı bu noktaların tespiti ile gerçekleştirilebilmektedir. Gün doğumu ve gün batımını zaman aralığını tarif eden bu noktalar kesim zamanları olarak da ifade edilmektedir. Kesim zamanları VLF işaretlerinin önemli karakteristiklerindedir. Ancak kesim zamanlarını tam olarak güneş doğuşu ve batışını sergilemesi beklenmemelidir. İletilen işaretin alıcı ve verici arasındaki zaman farkı bu genliğin düşüşünün ortalama değerinde gerçekleşeceği tahmin edilebilir.

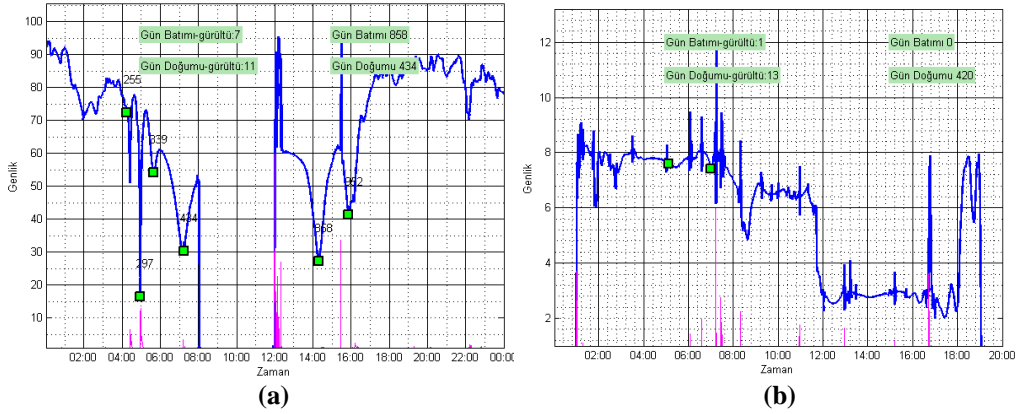
Yapılan araştırmalar ve yayınlarda görülmüştür ki, genlik üzerinde yapılacak bir çalışma yerine, kesim zamanları üzerinde yapılacak olan deprem öncü habercisi incelemeleri daha doğru ve anlamlı sonuçlar vermektedir [4].

5. Hatalı Veri Davranışları

Tahmin algoritmasının çalışması için eldeki verilerin hatasız olması gerekmektedir. Ancak alıcı ve verici arasında iletilen işaretlerin her zaman doğru olarak aktarılmadığı, bazı durumlarda alıcılardan veya vericilerden kaynaklanan hatalı veri kayıtlarının oldukları görülmektedir. Yaşanan bu hata durumları sadece alıcı ve vericide var olan sorunlardan kaynaklanmadığı bilinmektedir. Bu işaretler üzerinde bazı durumlarda çevresel etmenlerden kaynaklanan elektromanyetik şarjlardan dolayı, olmaması gereken hata bilgileri veya bozulmaların var olabileceği düşünülmelidir.

5.1. Hiç Veri Kaydı Yapılmamış Olması

Alıcı ve vericilerin herhangi birinin susması veya durdurulması gün verisinin elde edilememesi sonucunu doğurmaktadır. Canlı bir sistemin 7/24 ayakta kalmasını sağlamak bazen sorun olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında temin edilmek istenen veriler için karşılaşılan en önemli problem veriye sahip olunmadığı günlerdir. Algoritmanın bu sorunlu verileri otonom şekilde ayıklayabilmesi gerekir.



5.2. Aşırı Gürültü

İşaretlerin kullanılabilir olması için algoritmayı yanıltacak olası gürültülerin fazla olmasıdır. Özellikle kesim zamanları bölgelerinin etkilenmesi muhtemel hatalar hatalı tahmin yapılması sonucunu ortaya koyacaktır. Bu olmaması gereken noktalarda gerçekleşen ani değişimler, değişim tiplerine bağlı olarak arıza durumları tarif

edebilmektedirler. Şekil 4.(a)'da aşırı gürültü ve algoritmaya hatalı karar verdirecek bir hatalı veri kümesi bulunmaktadır.

5.3. Alıcı veya Vericinin Susması

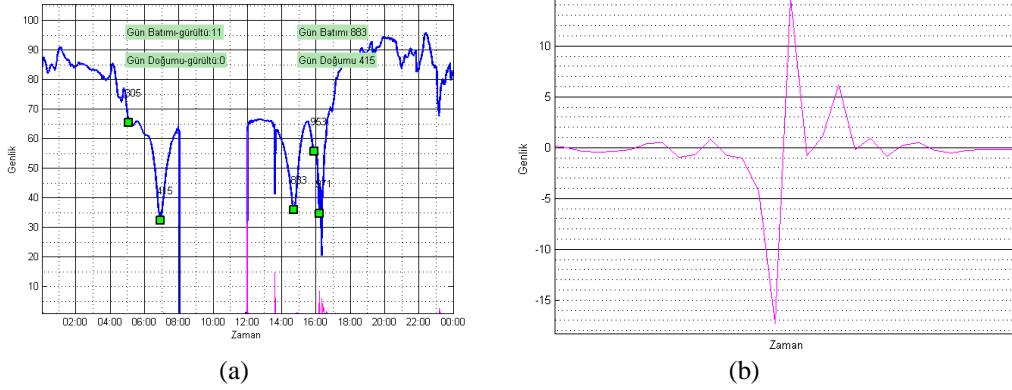
VLF alıcı ve verici sistemlerinde bazı durumlarda kayıt alınmadığı olabilmektedir. Alıcı üzerinde yaşanan sıkıntılar veya vericiden gelen işaretin kesilmesi gibi durumlarda işaret verisi aniden durmuş olur. Bu gibi durumlarda ya sistem tamamen 0 genlik değerine düşmektedir, ya da anlamsız gürültü verisi kaydetmektedir. Şekil 4.(b)'de susmuş bir vericinin alıcı üzerindeki yayını görülmektedir.

6. Otonom Düzeltme Algoritmalarının VLF Verilerine Uyarlanması

Tahmin yöntemlerinin düzgün çalışabilmesi için hatalı gün verilerini işaretlenmesi ve algoritmaların işlem aralıklarından çıkarılması gerekmektedir. Ancak böylece algoritmanın yanıltıcı verilerden kurtarılıp doğru tahminler yapması sağlanabilmektedir.

6.1. Türeve Bağlı Ani Değişim Tespiti ve Düzeltmesi

VLF işaretlerinin üzerinden sonuçları değiştirecek ani değer değişimleri tespiti önemlidir. Gün dönümleri, ilgili oldukları bölgedeki genliğin en düşük seviye ye indiği zamanı tarif etmektedir. Eğer bu ani değişimler ortadan kaldırmaz ise en düşük değerlerin bu değişimler bölgesinde çıkması muhtemel bir hatadır. Şekil 7.(a)(b)'de bu hatalı durum ile ilgili resim gösterilmektedir. Burada ani değişim, tespit ve düzeltme algoritması ile VLF işaretlerinde olan gün batımı kesim zamanı değerine etki etmemektedir. Dikkat edilirse 883. dakikadan önce (12:00) işaret bir düşüş yaşamışsa da algoritma bunun bir karakteristik düşüş olamadığı bulmuş ve kesim zamanı olarak işaretlenmemiştir. VLF işaretinin üzerindeki önemli bilgi kesim zamanları içerisindedir. Bu kısımda yaşanacak bir arıza giderimi önemlidir. İşaretin kalan kısmı tahmin sonuçlarını değiştirmez.

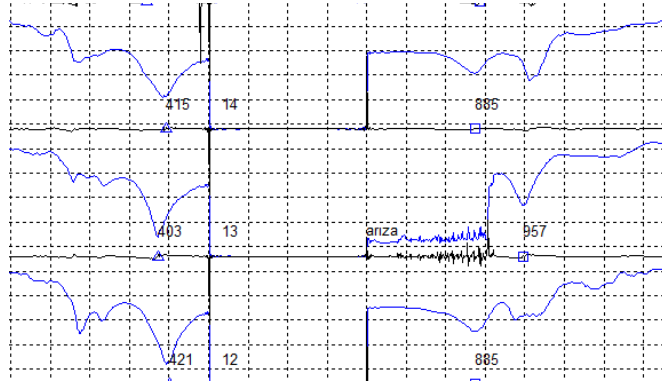


Şekil 5. (a) Hatalı veri örneği (b) Hatalı işaret diferansiyeli

Ani değişim, işaretin türevi üzerinde düzenli ve hızlı bir yükseliş ve düşüş sonucunu doğurmaktadır. Algoritma, ani yükseliş ve düşüşler için, işaret türevi üzerinde kısa zamanda gerçekleşen çok yüksek değerleri takip etmektedir. Şekil 5.(b)'de görüldüğü gibi bir değer kümesi ile karşılaşıldığında algoritma bu noktaları hata verisi olarak tanımlamakta ve kesim zamanı olarak işaretlememektedir.

6.2. Aritmetik Ortalamaya Bağlı Hata Tespiti

Bir VLF işareti üzerinde hatalı genliklerin tespiti için kullanılan bir algoritmik yöntemdir. Algoritma beklenmedik, anormal değişimlerin tespitini sağlamaya yönelik geliştirilmiştir. Aynı zamanda vericinin susması durumunu da tespit edebilmektedir. Şekil 6.'de gün batımı kesim zamanında susmuş vericiden alınan hatalı VLF işaretinin algoritma tarafında arıza olarak tespit edildiği görülmektedir. Tespit edilen VLF işareti tahmin algoritmalarında kullanılmayacaktır.



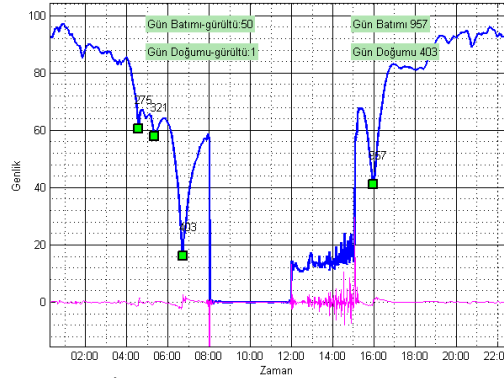
Şekil 6. Arızalı VLF işareti tespit eden algoritma sonucu

Tespit için aşağıdaki algoritma çalışmaktadır.

- Tüm İşaretlerin Aritmetik Ortalamasını Hesapla: Mevcut olan aya ait tüm işaretlerin bölgesel olarak aritmetik ortalamaları alınmaktadır. Gün batımı ve doğumu kesim zamanları değerleri için, mevsime bağlı olarak belirlenen bir saat aralığında ayrı ayrı ortalama alınmaktadır.
- İşaret Ortalaması: İncelenen işaretin gün doğumu ve batımı zaman dilimi ortalaması ayrı ayrı bölgesel olarak alınmaktadır.
- Doğruluk Hesabı: Alınan genel ortalamanın her bölge için ayrı ayrı 2/3'den düşük olup olmaması durumu takip edilmektedir.

6.3. Türev Tabanlı Hata Tespit Algoritması

VLF işaretlerinin doğruluğu için önerilen başka bir yöntem ise, işaretlerin hata tolerans katsayılarının üzerinde olup olmadığı kontrolüdür. Bir işaret aşırı derecede gürültülü veya arızalı bilgi taşıyorsa, bu işaretin mutlaka türevinin çok değişken olması gerekmektedir. Bu değişken türev değeri tespit edilmesi halinde işaretin hatalı olup olmadığı karar verilebilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir işarete doğruluk kontrolü için yüksek türev değerlerinin adetleri önemli bir bilgi verecektir. Şekil 6 incelendiğinde arızalı olan işaretin ani değişimler gösterdiği ve bu değişimlerin işaret türevinde takip edilebilir değişikliklere sebep olduğu görülmektedir. Şekil 7'da görüldüğü gibi gün batımı kesim zamanı kapsamındaki zaman diliminde işaret türevi aşırı değişimler göstermektedir.



Şekil 7. İşaret türevi tabanlı hata tespit sistemi

Seçilen limit değerlerinin aşımı + ve - olarak takip edilmektedir. Yapılan işaret incelemelerinde görülmüştür ki işaret türevinin genliği ile yapılan tespit yerine, limit değerlerinin aşımına dayalı yapılacak olan bir tespit her zaman için daha doğru sonuçlar üretmektedir. Burada işaretlerin türevlerinin toplamları yerine işaretlerin limit sınırlarının aşanların sayısı parametrik olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. İşaretlerin herhangi bir noktasındaki çok yüksek bir değeri yerine belirtilen zaman aralıkları içerisindeki limit değerlerini aşan zaman adetleri işaretin doğruluğu hakkında daha güvenilir bilgi vermektedir. Şekil 7'da gösterilmiş olan grafikte de görüleceği gibi Gün Batımı Gürültü değeri tanımlanmış olan limit değerlerini 50 defa aşmış durumdadır. Diğer tüm algoritmalarda olduğu gibi bu kontrolde sadece kesim zamanı bölgelerinde yapılmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Ulas, M., VLF sinyalleri kullanılarak depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik algoritma geliştirilmesi, Doktora, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011
- [2]. Hayakawa M., Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes, Terra Scientific Publishing Company, 62, 225-227, 2000
- [3]. Ulas, M., Ata, F., Balık, H.H., Precursors of Earthquakes: VLF Signals-Ionosphere Relation, International Journal Of Electronics; Mechanical And Mechatronics Engineering, IJEMME, 2012, Cilt:2, No:3, pp. 240-251.
- [4]. Molchanov, O.A, Hayakawa, M., Oudoh, T., Kawai, E., Precursory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1998, Vol:105, Issue:3-4, pp. 239-248.
- [5]. Hayakawa, M., Horie, T., Muto, F., Kasahara, Y., Ohta, K., Liu, L-Y., Hobara, Y., Subionospheric VLF/LF Probing of Ionospheric Perturbations Associated with Earthquakes: A Possibility of Earthquake Prediction, 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 010-014.
- [6]. Saç, M.M. Camgöz, B., İzmir'de Sismik Aktiviteler İle Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, pp. 47-54, 2005.
- [7]. Üstündağ, B; Kalenderli, Ö; Eyidoğan, H. Multilayer Capacitor Model of the Earth's Upper Crust. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2005, V.13.N.1: 163-174.
- [8]. Karatay, S., Deprem İle İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [9]. Hayakawa, M., Earthquake prediction with radio techniques. John Wiley & Sons, 2015.
- [10]. Hayakawa, M.; Molchanov, O. A. Effect of earthquakes on lower ionosphere as found by subionospheric VLF propagation. Advances in Space Research, 2000, 26.8: 1273-1276.
- [11]. Hayakawa, M., vd., Electromagnetic precursors to the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2006, 31.4-9: 356-364.
- [12]. Molchanov, O. A., vd., VLF/LF sounding of the lower ionosphere to study the role of atmospheric oscillations in the lithosphere-ionosphere coupling. 2001.
- [13]. Politis, D.; Potirakis, S. M.; Hayakawa, M. Criticality analysis of 3-year-long VLF subionospheric propagation data possibly related to significant earthquake events in Japan. *Natural Hazards*, 2020, 102.1: 47-66.
- [14]. MAHMOUDIAN, Alireza; KALAEI, Mohammad Javad. Study of ULF-VLF wave propagation in the near-Earth environment for earthquake prediction. *Advances in Space Research*, 2019, 63.12: 4015-4024.
- [15]. Němec, F.; Liška, M.; Parrot, M. Seismic influence on the VLF transmitter signal intensity measured by the low-altitude satellite DEMETER. *The European Physical Journal Special Topics*, 2021, 230.1: 227-245.
- [16]. URL-1, Kayaç Gerginliği Yöntemi İle Deprem Tahmin Projesi, 01.02.2021. [Çevrimiçi]. <http://deprem.itu.edu.tr>.
- [17]. Zmazek, B., et al. Soil radon monitoring in the Krško Basin, Slovenia. *Applied Radiation and Isotopes*, 2002, 56.4: 649-657.
- [18]. LIU, Jann Yen, vd., Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. In: *Annales Geophysicae*. Copernicus GmbH, 2004, 22, pp. 1585-1593.
- [19]. Yamauchi, Takeshi, et al. Subionospheric VLF/LF monitoring of ionospheric perturbations for the 2004 Mid-Niigata earthquake and their structure and dynamics. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 2007, 69.7: 793-802.
- [20]. Sato, Tokiyasu, vd. Detection and radiation area estimation of anomalous environmental electromagnetic wave related to earthquake precursor. In: 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2009. p. IV-518-IV-521.
- [21]. Muto, F., vd. Ionospheric perturbations related to the Miyagi-oki earthquake on 16 August 2005, as seen from Japanese VLF/LF subionospheric propagation network. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2009, 34.6-7: 449-455.
- [22]. Horie, T., Maekawa, S., Yamauchi, T., Hayakawa, M., A possible effect of ionospheric perturbations associated with the Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric very-low-frequency (VLF) propagation (NWC-Japan), *International Journal of Remote Sensing*, 2007, Vol. 28, Nos. 13-14, pp. 3133-3139.
- [23]. Davis, B.. *Data Mining Transformed*. InformationWeek, 1999, 751: 86-87.
- [24]. URL-2, Stanford VLF Group, 01.02.2021. [Çevrimiçi]. <http://vlf.stanford.edu/>.