

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VLf SİNYALLERİ KULLANILARAK DEPREMLERİN ÖNCEDEN TAHMİN
EDİLMESİNE YÖNELİK ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa ULAŞ

(06113201)

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektronik

Danışman: Yrd. Dr. Fikret ATA

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Kasım 2011

KASIM-2011

**VLF SİNYALLERİ KULLANILARAK DEPREMLERİN
ÖNCEDEN TAHMİN EDİLMESİNE YÖNELİK
ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

Mustafa ULAŞ

Doktora Tezi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

KASIM-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VLF SİNYALLERİ KULLANILARAK DEPREMLERİN ÖNCEDEN TAHMİN
EDİLMESİNE YÖNELİK ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Mustafa ULAŞ

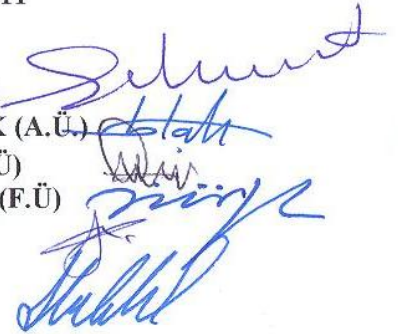
(06113201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Kasım 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Aralık 2011

Tez Danışmanı :
İkinci Danışman :
Diğer Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA (F.Ü)
Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK (A.Ü.)
Prof.Dr. Mustafa POYRAZ (F.Ü)
Doç.Dr. İbrahim TÜRKOĞLU (F.Ü)
Yrd.Dr. Erdem UÇAR (T.Ü)
Yrd.Doç. Ayhan AKBAL(F.Ü)



KASIM-2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında desteği ve katkılarıyla Yrd.Doç.Dr. Fikret ATA'ya, tüm süreçlerde her türlü yardımı ve fikri desteği ile yanımda olan, başarıya olan inancımı ve hevesimi manevi ve fiili desteği ile hep diri tutan, bana bu mesleği sevdiren Doç. Dr. Hasan H. BALIK'a, çalışmaya konu olan VLF verilerini paylaşan, tezin hazırlanma aşamasındaki her türlü ayrıntıda manevi ve bilgi desteği ile yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Esat GÜZEL'e, konu hakkındaki tecrübesi ile yol gösterici olan Yrd. Doç. Dr. Murat CANYILMAZ'a teşekkür ederim.

Yoğun ve uzun çalışma süreçlerinde göstermiş oldukları hoşgörü ile annem ve babam Gülten ve Mehmet ULAŞ'a, kardeşim Sevilay'a, tezin hazırlanma evresinin İstanbul ayağında manevi destekleri için Şemsettin, Sıdika ve Mevhibe ULAŞ'a teşekkür ederim.

Mustafa ULAŞ

Elazığ – 2011

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR	XIV
1 GİRİŞ	1
2 ELEKTROMANYETİK DALGALAR	6
2.1 Giriş	6
2.2 Temel Elektromanyetik Kavramlar	8
2.2.1 Elektrik Alan.....	10
2.2.2 Manyetik Alan	11
2.3 Maxwell Denklemleri	12
2.3.1 Elektromanyetik Alanı İfade Eden Dalga Denklemlerinin Çıkarılması	13
2.4 Dalga Parametreler	15
2.4.1 Karakteristik Empedans.....	15
2.4.2 Dalga Numarası	15
2.4.3 İletkenlik	15
2.4.4 Elektriksel Geçirgenlik	16
2.4.5 Manyetik Geçirgenlik	16
2.4.6 Deri Kalınlığı	16
2.5 Elektromanyetik Tayf (Spektrum).....	17
2.5.1 Gamma Işınları	18
2.5.2 X Işınları	18
2.5.3 Morötesi (UV) Işınları	18
2.5.4 Görünür Işınları.....	18
2.5.5 Kızılötesi (IR) Işınları	18
2.5.6 Mikrodalga Işınları	19
2.5.7 Radyo Dalgaları	19
2.6 Elektromanyetik Dalganın Üretilmesi	19
2.7 Çok Alçak Frekans (VLF-Very Low Frequency).....	20
2.8 Yerkürenin Elektromanyetik Alanı.....	21
3 İYONKÜRE VE İYONKÜRE PARAMETRELERİ	23
3.1 Giriş	23
3.2 İyonkürenin Yapısı ve Tabakaları.....	24
3.2.1 D bölgesi	26
3.2.2 E Bölgesi.....	28
3.2.3 F Bölgesi	28
3.2.4 Elektron Yoğunluğu.....	29

3.2.5	İyonküre Kritik Frekansı (f_0)	30
3.2.6	Elektron, İyon ve Nört Sıcaklıkları.....	30
3.2.7	İyonküre Toplam Elektron İçeriği (TEC)	31
3.2.8	Güneşin Aktivitesi ve Jeomanyetik İndisler	32
3.3	Güneş indisleri	32
3.3.1	Güneş Lekeleri (R)	33
3.4	Yerin Manyetik Alanına Ait İndisler (Jeomanyetik İndisler).....	33
3.4.1	K-İndisi	33
3.4.2	Kp-indisi	34
3.4.3	a-indisi	34
3.4.4	A-indisi	34
3.4.5	Dst İndeksi	35
3.5	İyonkürede İletim.....	36
3.5.1	Plazma.....	37
3.5.2	Plazma Frekansı.....	37
3.5.3	Elektromanyetik Dalganın Plazmada Yayılımı	38
4	DEPREMLERİN OLASI ÖNCÜ HABERCİLERİ VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR.....	40
4.1	Giriş	40
4.2	Olası Etkenler	42
4.3	Tahmin İçin Önerilen Yöntemler.....	42
4.3.1	Depremlerin VLF – İyonküre İlişkisi Metodu.....	43
4.3.2	Deprem – Toplam Elektron İçeriği İlişkisi Metodu	55
4.3.3	Radon Gazı Ölçümü Metodu	57
4.3.4	Kayaç Gerginliği Ölçümü Metodu	59
5	VERİ MADENCİLİĞİ.....	61
5.1	Giriş	61
5.1.1	Veri Madenciliğinin Tarihsel Gelişimi	63
5.2	Veri Madenciliğinde Bilginin Keşif Süreci	64
5.2.1	Veri Madenciliği Bilginin Keşfi Süreci Adımları	64
5.2.2	Problemin Tanımlanması.....	65
5.2.3	Verilerin Hazırlanması.....	66
5.2.4	Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi	67
5.2.5	Modelin Kullanılması ve İzlenmesi.....	68
5.3	Veri Madenciliği Modelleri ve İşlevselliği.....	68
5.3.1	Kavram/Sınıf Tanımlaması.....	68
5.3.2	Birliktelik Analizi	69
5.3.3	Sınıflandırma ve Öngörüm	70
5.3.4	Kümeleme Analizi	76
5.3.5	Ayrık Değer Analizi	77
5.3.6	Değişim Analizi	77
5.4	Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler	77
5.4.1	Veri Tabanı Boyutu	78
5.4.2	Gürültü Verileri	78
5.4.3	“NULL” Değerleri	79
5.4.4	Eksik Veri	79
5.4.5	Dinamik Veri	80
5.4.6	Sınırlı Bilgi	80
5.5	Veri Madenciliğinin Uygulama Alanları	80

5.6	Veri Madenciliğinin VLF İşaretlerine Uygulanması	82
6	VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLEN TAHMİN ALGORİTMASI	83
6.1	VLF Veri Kayıt Sistemi.....	83
6.1.1	VLF Verici Sistemi.....	84
6.1.2	VLF Alıcı Sistemi.....	86
6.1.3	MATLAB Veri Kayıt Formatı ve Değişkenleri.....	94
6.1.4	Genel Veri Karakteristikleri.....	100
6.1.5	Hatalı Veri Davranışları.....	102
6.1.6	Veri Dosyalarının Seçimi	105
6.2	Depremlerin Öncü Habercilerinin Tahmini İçin Önerilen Algoritma	106
6.2.1	Yazılımsal Altyapı	106
6.2.2	Geliştirilen Tümlşik Tahmin Algoritması.....	106
6.2.3	Tahmin Algoritması.....	119
6.3	Uygulama Yazılımı ve İncelenen Deprem Sonuçları	135
6.3.1	14 Şubat 2008 M6.9 Yunanistan Depremi NSC Vericisi	137
6.3.2	14 Şubat 2008 M6.9 Yunanistan Depremi ICV Vericisi	144
6.3.3	06 Ocak 2008 M6.2 Yunanistan Depremi NSC Vericisi.....	148
6.3.4	Ortak Karar Mekanizması Çalışma Prensibi	154
7	SONUÇ ve TARTIŞMA	156
7.1	Giriş	156
7.2	İleride Yapılacak Olan Çalışmalar.....	158
	KAYNAKLAR.....	159
	EK-1 : DEPREM TAHMİNİ KONUSUNDA ÇALIŞAN KURUMLAR VE KİŞİLER	165
	ÖZGEÇMİŞ	166

ÖZET

İnsanların hayatlarını şekillendiren depremlerin üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda öncü haberci tespiti ve analizi konuları üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar ile, depremlerin oluşumundan önceki evrelerde bazı anormalliklerin gerçekleştiği örnekler ile ispatlanmıştır. Rus, Japon ve Türk akademisyenler, depremlerin alt iyonküredeki yayılım ile ilişkili olduğunu ispat eden birçok ipucu bulmuşlardır. Bu tez çalışmasına konu olan başlık, Çok Düşük Frekanslı (VLF) işaretlerin iyonküre üzerinden iletimi esnasında yaşanan kayıpları kullanarak depremleri önceden tahmin edecek bir algoritma geliştirmektir. 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. Tez içerisinde depremlerden önceki zaman dilimlerinde gerçekleşen etkenler incelenmiştir.

Bu tez kapsamında, depremlerin öncesinde gerçekleşen habercilerin tahmin edilmesine yönelik olan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın anlaşılabilmesi için yapılan literatür incelemeleri sonucunda ortaya çıkan yöntemlerin analizi ve derlenmesi yapılmıştır. Bu alanda, uygulama geliştirme ve analiz yapma konusunda engel teşkil eden en önemli sorun, yığınla anlamsız veri kümelerinin, kullanılabilir bilgi yığınlarına dönüştürülmesini sağlayan ve içerisindeki arızalı işaretlerin ayıklanmasını gerçekleştiren algoritmalar geliştirilmiştir. Öncü haberci analizi için literatürde olmayan yeni bir yöntem önerilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen uygulamada, önerilen yöntem ve var olan 3 yöntemin çalışmasını sağlayan, veri madenciliği adımları paralelinde bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın çalışmasını sağlayacak ortak karar mekanizmasına yönelik öneride bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Veri Madenciliği, Tahmin Algoritmaları, İyonküre, Depremler

SUMMARY

Advancing Algorithms by Using VLF Signals In Order To Predict Earthquakes

The studies done about the earthquakes that shape the lives of human beings have started to focus on the issues of determination and analysis of foreshock precursor recently. Russian, Japanese and Turkish academicians found a lot of clues proving that the earthquakes are related to the dispersion in lower ionosphere. With the studies done, it was verified by examples that in various fields, some anomalies occurred in the phases before the earthquake formation. Among these fields, the title being the subject of the thesis covers the losses during the transmission of Very Low Frequency (VLF) signs over ionosphere. VLF sign generated from transmitter also has the information of the losses while being taken by the receiver in transmission environment. While a lot of parameters could be displayed as the reason for these losses, one of them could be the factors occurring before the earthquakes and searched in the thesis.

Within the scope of this thesis, a study is carried out to estimate precursors occurring before the earthquakes. In the study, the research and compilation of the methods that came up as a result of the literature research were realized. In this field, as the most important problem about practice, development and analysis, algorithms that turn a lot of meaningless data into useful information and sort out faulty signs in it were developed. For foreshock precursor determination, a recent method that is not available in the literature was suggested. This method suggested with the practice developed in the scope of the thesis and an algorithm in parallel to data mining levels providing the work of existing 3 methods were developed. A suggestion was made about co-decision mechanism that makes this algorithm work.

Key Words: Data Mining, Prediction algorithms, Ionosphere, Earthquakes

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1 (a) Elektrik alan (b) Manyetik alan	8
Şekil 2-2 Elektromanyetik devre	9
Şekil 2-3 Elektriksel dalga.....	9
Şekil 2-4 Manyetik dalga.....	9
Şekil 2-5 Elektromanyetik dalga	10
Şekil 2-6 Elektromanyetik tayf.....	17
Şekil 2-7 Elektromanyetik dalga üretici devre	20
Şekil 2-8 Yerkürenin manyetik alanı çizgileri.....	22
Şekil 3-1 İyonküre elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi.....	26
Şekil 3-2 İyonküre tabakalarının sıcaklık ve kimyasal yapıları	29
Şekil 3-3 İyonküre - alıcı - verici.....	36
Şekil 3-4 Yansıma ve frekans ilişkisi	36
Şekil 3-5 Kaynak işaretinin plazmadan yansıması	38
Şekil 3-6 Sinyallerin yansıması	39
Şekil 4-1 Elektromanyetik dalga üzerindeki kesim zamanı tespiti.....	43
Şekil 4-2 Deprem tahmininde 2σ testi (Molchanov vd., 1998)	45
Şekil 4-3 Alıcı, Verici istasyonları, Fresnel alanı ve depremin olduğu bölge.....	46
Şekil 4-4 Faz verisinin üzerinden kesim zamanı tespiti	48
Şekil 4-5 Kesim zamanlarının 2σ seviyesine göre grafiği (Molchanov vd., 1998).....	49
Şekil 4-6 Gün doğumu ve gün batımı kesim zamanları (Yamauchi vd., 2007)	51
Şekil 4-7 Kesim zamanı kayması	52
Şekil 4-8 2σ değeri aşımı.....	54
Şekil 4-9 Deprem öncesi gözlemlenen tedirginlikler	55
Şekil 4-10 Kayaç Gerginliği Ölçüm sisteminin çalışma şekli	60
Şekil 5-1 Veri madenciliği yaşam döngüsü	62
Şekil 5-2 Veri madenciliğinde bilginin keşif süreci adımları.....	65
Şekil 5-3 Yapay sinir ağı yapısı.....	72
Şekil 5-4 Genetik algoritmanın işlem adımları	74
Şekil 5-5 Kümelenmiş veri yığını.....	76
Şekil 6-1 İngiltere Anthorn'da VLF vericisi	85
Şekil 6-2 Verici konumları	85
Şekil 6-3 VLF alıcı sisteminin prensip şeması	87
Şekil 6-4 Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi çatısında kurulu alıcı anten.....	88
Şekil 6-5 Ön yükseltici çalışma prensibi	89
Şekil 6-6 Hat alıcısı	90
Şekil 6-7 Hat alıcısı prensip şeması.....	90
Şekil 6-8 GPS Anteni ve M12-zamanlayıcı kartı	91
Şekil 6-9 Kayıt sistemi	93
Şekil 6-10 MATLAB veri dosyasında kullanılan değişkenler	95
Şekil 6-11 İşlenmemiş Elazığ-ICV 12-13-09-2005 gece süresi VLF işareti.....	97
Şekil 6-12 Elazığ – NSC 17-18-04-2008 gece süresi VLF işareti.....	98
Şekil 6-13 İşlenmiş Elazığ-ICV 12-13-09-2005 gece süresi VLF işareti.....	99
Şekil 6-14 VLF İşaret Karakteristikleri	100
Şekil 6-15 Eksik, ancak kullanıma uygun örnek veri.....	102
Şekil 6-16 Aşırı Gürültülü bir Veri örneği	103
Şekil 6-17 Susmuş vericiden kaydedilen VLF işareti	104
Şekil 6-18 Aşırı Gürültü veya Kayıplar.....	105

Şekil 6-19 Veri Elde Etme Algoritması akış diyagramı	111
Şekil 6-20 Hatalı veri örneği	113
Şekil 6-21 Hatalı işaret diferansiyeli	114
Şekil 6-22 Arızalı VLF işareti tespit eden algoritma sonucu	115
Şekil 6-23 Aritmetik ortalamaya bağlı bölgesel hata tespit algoritması.....	116
Şekil 6-24 İşaret türevi tabanlı hata tespit sistemi	117
Şekil 6-25 Türeve Bağlı Hata Tespit Algoritması	117
Şekil 6-26 Arızalı gün verileri ile birlikte oluşturulan gün serileri	118
Şekil 6-27 Arızalı günler çıkartılmış şekilde oluşturulan gün serileri.....	119
Şekil 6-28 Arıza tespit hata sonuç oranı 1/62.....	120
Şekil 6-29 Güneşin doğuşu kesim zamanı tespiti akış diyagramı	124
Şekil 6-30 Güneşin batışı kesim zamanı tespiti akış diyagramı	126
Şekil 6-31 İşareti türev ile kesim zamanı tespiti.....	127
Şekil 6-32 Kesim zamanı başarımlı oranı 3/51.....	128
Şekil 6-33 Sakin gün gece süresi türev değerleri	129
Şekil 6-34 Depremi gerçekleştiği ay için gece süresi türev değeri.....	129
Şekil 6-35 14 Şubat 2008 Yunanistan Depremi – Şubat ve Mart ayları arızalı günler hariç türevleri.....	130
Şekil 6-36 7'li Hafıza algoritması	132
Şekil 6-37 7'li Hafıza algoritması ile öncü tespiti	133
Şekil 6-38 2σ Hesabı algoritması	134
Şekil 6-39 Tüm algoritmaları içeren akış diyagramı	135
Şekil 6-40 Algoritmayı koşturan yazılım ara yüzü.....	136
Şekil 6-41 14-20 Şubat Yunanistan depremi ve seçilen alıcı, vericiler.....	137
Şekil 6-42 Kesim zamanları tespit edilmiş VLF işareti.....	138
Şekil 6-43 01-15 Şubat 2008 VLF İşaretleri ve kesim zamanları	139
Şekil 6-44 16-29 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları.....	139
Şekil 6-45 Temizlenmemiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri	140
Şekil 6-46 Temizlenmiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri ...	141
Şekil 6-47 2σ Testi sonuçları	141
Şekil 6-48 VLF İşaretlerinin hafıza değerleri.....	142
Şekil 6-49 3 aylık gece süreleri üzerinden deprem tahmini	143
Şekil 6-50 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini	143
Şekil 6-51 3 aylık gün doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini.....	144
Şekil 6-52 01-15 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları.....	145
Şekil 6-53 16-29 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları.....	145
Şekil 6-54 3 aylık gece süreleri kayması üzerinden deprem tahmini	146
Şekil 6-55 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini	147
Şekil 6-56 3 aylık gün doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini.....	147
Şekil 6-57 06 Ocak 2008 Yunanistan depremi ve seçilen alıcı, vericiler.....	148
Şekil 6-58 01-15 Ocak 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları	149
Şekil 6-59 16-31 Ocak 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları	150
Şekil 6-60 Temizlenmemiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri	150
Şekil 6-61 Temizlenmiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri ...	151
Şekil 6-62 2σ Testi sonuçları	152
Şekil 6-63 3 aylık güneşin doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini	153
Şekil 6-64 3 aylık gece süreleri üzerinden deprem tahmini	153

Şekil 6-65 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini	154
Şekil 6-66 Ortak cevap algoritması	155

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2-1 Frekans aralıkları listesi	21
Tablo 3-1 K-indisleri	33
Tablo 3-2 K-indisinin anlamlandırılması	34
Tablo 3-3 K indisi ile a indisi arasındaki ilişki.....	34
Tablo 3-4 A-indisi anlamlandırılması	35
Tablo 3-5 Dst indeksinin sınıflandırılması	35
Tablo 4-1 Kesim Zamanındaki gözlemlenmiş kaymalar.....	50
Tablo 5-1 Veri madenciliği evrimsel adımları (URL-13, 2011)	63
Tablo 6-1 Dünya üzerindeki VLF vericilerinin listesi.....	86
Tablo 6-2 Alıcı listesi	87

SEMBOLLER LİSTESİ

T	: Tesla
Z	: Tanımlı dalga empedansı
Z₀	: Boşluğun dalga empedansı
f₀	: Kritik frekans
K	: Kelvin
t_s	: Gün doğumu kesim zamanı
t_a	: Gün batımı kesim zamanı
$\vec{E}$	: Elektrik alan
$\vec{B}$	: Manyetik alan
V	: Gerilim
λ	: Çizgisel yükün yoğunluğu
σ	: Yüzeysel yük yoğunluğunu
ρ	: Hacimsel yük yoğunluğunu
$\vec{F}$	: Manyetik Kuvvet
μ	: Manyetik geçirgenlik
μ₀	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
V	: Hız
ε	: Elektriksel geçirgenlik
ε₀	: Boşluğun elektriksel geçirgenliği
J	: Akım yoğunluğu
δ	: Deri kalınlığı
ω	: Rezonans frekansı
f₀	: Kritik frekans
F_{10.7}	: Güneşin akısı
N_e	: Elektron yoğunluğu
T_e	: Elektron sıcaklığı
T_i	: İyon sıcaklığı
K_p	: Ortalama jeomanyetik işleklik
Dst	: Disturbance Storm Time - Manyetik fırtına seviyesi
w_p	: Plazma frekansı

n	: Plazma kütleli
m_e	: Elektron kütleli
af	: Kritik frekansların aritmetik ortalaması
C	: İlinti katsayısı
A_{yn}	: Yöntem ağırlık değeri
YC	: Yöntem cevabı
GC	: Deprem bilgisi barındıran gerçek cevap
DS	: Test edilen deprem sayısı

KISALTMALAR

ADC	: Analog-Dijital Dönüştürücü
AGW	: Atmospheric Ground Wave - Atmosferik Yer Dalgası
CBA	: Chiba
CHO	: Chofu
EEG	: Electroencephalogram
FDTD	: İki Boyutlu Sonlu Farklar Zaman Domemi
FPGA	: Field-Programmable Gate Array - Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
GPS	: Global Positioning System - Yerküresel Konumlama Sistemi
GSM	: Global System for Mobile Comm. - Mobil İletişim İçin Küresel Sis.
GUI	: Graphical User Interface – Grafiksel Kullanıcı Ara Yüzü
HF	: High Frequency -Yüksek Frekans
ICV	: İtalya, Isola’da bulunan VLF vericisi
KOC	: Kocki
KDD	: Knowledge Discovery in Databases - Veri Tabanında Bilgi Keşfi
MSR	: Moshiri
NSC	: İtalya, Sicilya’da bulunan VLF vericisi
RF	: Radyo Frekansı
TEC	: Total Electron Content - Toplam Elektron İçeriği
ULF	: Ultra Low Frequency - Aşırı Düşük Frekanslı
UT	: Universal Time - Evrensel Zaman
VHF	: Very High Frequency - Çok Yüksek Frekans
VLF	: Very Low Frequency - Çok Düşük Frekans
VTEC	: Vertical Total Electron Content – Dik Toplam Elektron İçeriği
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1 GİRİŞ

Depremeler yerkürenin yapısını, dünyanın oluşumundan bu yana sürekli değiştirmektedir. 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. Aktif fay hatları incelendiğinde, yurdumuzun %92'si, sanayimizin %98'i ve nüfusumuzun %95'i deprem bölgesi içinde olduğu görülmektedir (URL-20, 2011). 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.

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 (Molchanov vd., 1998) (Hayakawa, 2008) (Saç ve Camgöz, 2005) (Üstündağ vd., 2004) (Karatay, 2010) (Ulusoy ve Ikeya, 2010). Bu metotların 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. Bundan dolayıdır ki yapılan yüzlerce çalışma varken tam doğrulukla deprem tahmini gerçekleştiren bir yöntem literatürde yer almamaktadır. Bu ise depremlerin tahminleri için gerçekleştirilecek sistemlerin tek bir yöntem yerine birden fazla yöntemden alınan sonuçlar ile karar veren bir yapıda tasarlanması sonucunu doğurmaktadır. Çoklu olarak üretilecek cevap ihtiyacı, yeni öncü haberci tespitine yönelik olan çalışmalarında gerekli olduğu sonucunu doğurur. Tez çalışması bu temel doğruları destekler niteliktedir. Yapılan çalışmalar ile etkisi ortaya koyulmuş parametrelerin üzerine kurulu yeni bir tahmin yöntemi önerilirken, çoklu yöntem kullanımına dayalı karar mekanizması da ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

Öncü haberci tahmini konusunda yapılan araştırmalar çeşitli alanlarda devam etmektedir. Çok Düşük Frekanslı işaretler (VLF) ile İyonküre ilişkisi, Deprem Toplam Elektron İçeriği İlişkisi (TEC), Radon Gazı Ölçümü ve Kayaç Gerginliği Metodu başta

olmak üzere birçok araştırma alanı bulunmaktadır. Bu alanlarda yapılan araştırmalar ile elde edilmiş bir bilgi birikimi bulunmaktadır. Bu birikim veri anlamlandırma yöntemlerinin katkısı ile tahmin yöntemleri geliştirmeye yönelik olan araştırmaların da sayısı artacaktır. Deprem haberci analizi üzerine aktif çalışan Türkiye, Japonya, Amerika, Rusya gibi ülkeler vardır. Ek-1’de bu kurumların listesi bulunmaktadır.

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 önerilmiştir. 100 km altında gerçekleşen depremler yüzeysel deprem olarak adlandırılmaktadır (Hayakawa, 1999). 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.

Tahminde kayaç hareketliliğinin ölçülmesine dayalı olan geleneksel yöntemlerin kullanılması alışla 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 (Hayakawa ve Molchanov, 2000). 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 (Hayakawa, 2008).

Tezde incelenen 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 (Hayakawa vd., 2006) (Molchanov, 2001). İyonkürede işaretin iletimi esnasında uğradığı kayıpların sebebinin, depremlerden önce yerküreden yayılan gazların ve dünyanın değişen manyetik alanı olduğunu ifade eden çeşitli çalışmalar vardır (Karatay, 2010). 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.

İyonkürenin karakteristik değişimlere uğramasına sebep olan etmenlerden etkilenen karmaşık sistem modellendiği takdirde depremler ile iyonküre üzerinden aktarılan işaretlerin arasındaki ilişkiyi tanımlayan önemli bulgular ortaya konulabilecektir. Ancak böyle çok fazla değişkene sahip bir sistemin matematiksel modelinin oluşturulması o kadar da kolay değildir. Bu tarz belirsiz veya ölçülmesi zor değişkenlere sahip olan sistemlerin analizleri ve anlamlandırılmaları için veri işleme teknikleri kullanılması önerilmektedir. Bu tez çalışması ile matematiksel modelinin oluşturulması çok zor olan iyonküre davranışının veri madenciliği adımları ile depremlerle olan ilişkilerini tanımlayan algoritmik bir model ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

Deprem tahmini ile ilgili yöntemler hakkında bilgi, yapılan literatür taramalarında görülmektedir. Ancak yöntemlerin uygulama çalışmaları yeterli değildir. Bu konuda yapılan çalışmaların az olması, her bir deprem incelenmesi için anlamlandırma yapılan veri kümesinin çok büyük bir yığın olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yığınla verinin elde etme yöntemi ise çok kısıtlıdır. VLF işaretlerinin kaydının yapıldığı dünya üzerinde sınırlı sayıda kayıt merkezi bulunmaktadır. Bu kayıt merkezlerinde elde edilen verilerin ise arızalı olma oranları çok yüksektir. Bu durum yapılan araştırmaları sınırlamaktadır.

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 otomote edilmiş bir anlamlandırma algoritmasının, çok daha hızlı ve güvenilir sonuçlar vereceği öngörülmektedir. Var olan yöntemlerin tekil karar verme mekanizmasına sahip olması, hata oranını azımsanmayacak şekilde artıracaktır. Yapılan çalışma bu tekil karar mekanizmasını ortak karar mekanizmasına dönüştüren bir yapı ile çalışmaktadır.

Gerçekleştirilecek sistemde, yığınla karmaşık ve anlamsız veriden anlamlı sonuçlar üretmek için sürecin tüm adımlarını yöneten algoritmalara ihtiyaç vardır. Bu adımların hatasız ve hızlı bir şekilde yürümesi, sağlam kurulmuş bir yapının sonucudur. Veri elde etme, seçim, temizleme, hata arındırma, anlamlandırma ve yorumlama adımlarını yöneten algoritmaların tasarlanması gerekmektedir.

Veri madenciliğinde yapay sinir ağları (YSA), birliktelik kuralları, genetik algoritmalar ve benzeri birçok yöntem bulunmaktadır. Tez çalışmasında bu yöntemlerin kullanılması konusundaki seçim, VLF işaretlerinin yapısına ve mevcut veri kümesinin kapasitesine bağlı olarak yapılmıştır. Veri madenciliği yöntemlerinde, veri kümelerinin geniş ve sağlıklı olması gerekmektedir. Örneğin tıp alanında yapılan bir çalışmada doğruluk parametresi en az 100 örnek üzerinde çalışıldıktan sonra belirlenmesi gerekirken, mevcut VLF işaretlerinden incelenen deprem ve o depremin gerçekleşmiş olduğu ay ve günlere ait olan sağlıklı veri sayısı çok azdır. Bu durum YSA ağının eğitimi veya testi için gerekli olan veri kümesine ulaşılmaması sonucunu doğurur. Bu yüzden çalışmada YSA kullanılması yerine Molchanov vd. 1998 yılında yapmış olduğu çalışma ile ortaya koyduğu parametreler üzerinden yeni bir VLF öncü haberci tahmin algoritması ve bu algoritmanın çalışması için gerekli olan veri Elde Etme algoritması ve Hata Tespit algoritması geliştirilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında depremlerin öncü habercilerinin tahmini için iyonküreden taşınan VLF işaretleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada çözüme ulaştıracak yeni bir yöntem ile birlikte var olan yöntemlerin doğru ve güvenilir bir ortak cevap üretme algoritmasına katılmaları sağlanacaktır. Deprem analiz adımlarının çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Ayrıca VLF işaretlerinden oluşan veri kümesinden anlamlı sonuçlar elde edilmeye çalışılacaktır. Bu sonuca ulaşmak için veri madenciliği adımları işletilecek, anlamlandırma için veri madenciliği motoru olarak VLF işaretlerinin yapısına uygun bir algoritma geliştirilecektir.

Yapılan çalışma 2008 yılında gerçekleşmiş olan 3 deprem ve 2 farklı vericiden gelen VLF işaretleri üzerinden test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışma sonunda irdelenmiştir.

Bu bölümde yapılan çalışmanın genel yapı taşları ve üzerinde kurulu olduğu mantıksal çerçeve anlatılmıştır.

VLF işaretlerinin yapısının anlaşılabilmesi için bölüm 2’de genel anlamda elektromanyetik dalgalar hakkında kısa bir tanımlama yapılacaktır. Tez çalışmasının, üzerinden bilgi temin etmeye çalışıldığı elektromanyetik dalgaların tanımı ve iletim ortamındaki davranışları incelenecektir.

VLF işaretlerin iyonküre içerisinde hareket etmektedir. Hareket halinde iken yaşamış olduğu kayıplar aynı zamanda işaretlere yüklenen bilgiler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bilgilerin anlamlı verilere dönüştürülebilmesi ancak iletim ortamının tam anlamıyla hangi etkenlere, nasıl tepkiler verebileceği hakkında bilgi sahibi olmakla sağlanabilir. Bu bağlamda iyonkürenin genel olarak anlaşılabilmesi için bölüm 3 hazırlanmıştır.

Geliştirilecek olan algoritmaların kaynağını teşkil edecek olan yöntemlerin bir tanesi bu tez çalışmasında önerilmişken diğer yöntemler literatürde yapılan araştırmalar sonucu ortaya koyulmuştur. Bu literatür çalışmaları hakkındaki derleme, yapılacak olan diğer araştırmalara kaynak teşkil edebilecek şekilde bölüm 4’de aktarılmıştır.

Veri madenciliği işlem adımları, incelenen problemin yapısına uygundur. Yığınla anlamsız veri, adımlar takip edildiğinde faydalı sonuçlara doğru ilerlemektedir. Bu tarz bir problemin incelenmesi yöntemi olarak veri madenciliği adımlarının başarılı sonuçlar verdiği örnekler ile bölüm 5’te belirtilmiştir.

Bölüm 6’te verilerin elde edilme yöntemleri ve tipleri gibi temel çalışma alt yapısı incelenmiştir. Veri elde etmeyi sağlayan kayıt sistemi tanıtılmıştır. Bu yapı çerçevesinde oluşturulan uygulamada, derlenen ve yeni geliştirilen yöntemler, algoritmalar ile çalıştırılmıştır. Bu algoritmaların ortak karar mekanizması ile olan yapısal durumları incelenmiştir. Uygulamalar deprem verileri üzerinde denenmiş ve başarımlı analizleri yapılmıştır.

Bölüm 7’de ise geliştirilen yeni yöntem ve uygulamanın sonuçları ve literatüre yapılmış olan katkısı irdelenmiştir.

2 ELEKTROMANYETİK DALGALAR

2.1 Giriş

Elektromanyetik, insan hayatında vazgeçilemeyecek bir ayrıntı olarak çok geniş uygulama sahaları ile karşımıza çıkmaktadır. Haberleşme sistemleri, tıp, savunma sanayi, eğitim, çevre gibi çok çeşitli aralıkta elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır (Sevgi, 2004).

Heinrich Rudolf Hertz, radyo dalgalarını üretip bunları yayınlamayı ve algılamayı gerçekleştirerek elektromanyetik dalgalarının titreşim hareketi olduğunu göstermiştir. Hertz, 1887-90 yılları arasında yapmış olduğu deneylerde alternatif akım kaynağı ile oluşturduğu 1 GHz frekanslı verici anten ile 20 metre mesafeden aynı frekansa ayarlı alıcı anten ile iletişim kurmayı başarmıştır (Orhun ve Tanışlı, 2007). 1901'de Guglielmo Marconi, Atlas okyanusunun iki yakası arasında elektromanyetik dalga iletimi gerçekleştirmiştir. Hertz 1887 ile 1890 yılları arasında yapmış olduğu deneylerde, elektromanyetik dalgaların, ışık gibi kutuplanabildiğini, yansıdığını, kırıldığını göstermiş, hızlarının ışık hızına eşit olduğunu bulmuştur (Orhun ve Tanışlı, 2007). Bu başarılı deneyin ardından elektromanyetik dalgaların güncel hayat içerisinde kullanılmasını sağlayan endüstriyel uygulama alanları üzerine çalışmalar artırılmıştır.

1940'lı yıllarda yapılan gelişmiş radar sistemleri sayesinde kısa dalga boyları kullanılarak radyo mesajlarının taşınması gerçekleştirilmiştir. İkinci dünya savaşı ile birlikte haberleşme sistemleri üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. Yapılan araştırmalar, uydu haberleşme sistemleri hakkında yeni bir çalışma alanı oluşturmuştur. Gerçek anlamda ilk uydu, NASA tarafından 1958 yılında yörüngeye yerleştirilmiştir. Avrupa ülkeleri arasında telekomünikasyon, radyo ve TV hizmetlerinin verildiği EUTELSAT uydu birliği 1977 yılında kurulmuş ve uydu haberleşmesi kullanımını askeri alandan daha geniş kitlelere ulaşılan ticari alanlara kaydırmıştır (Aydın, 2006).

1880'li yıllarda başlayıp 1960'lı yıllara kadar devam eden süreçte elektromanyetik dalgaların kullanım alanları giderek yaygınlaşarak insan hayatına olan etkileri artmıştır. Günümüz yaygın teknolojilerinin çoğunun temel aldığı elektromanyetik dalgalar, özellikle

kablosuz iletişim ve GSM iletişimi ile sıkça karşımıza çıkmaktadır. 1983 yılında gerçekleştirilen hücresel telefon hizmetinin gelişmesi, kablosuz haberleşme sistemlerinin kullanım alanları genişlemiştir (Çıbuk, 2009).

GSM haberleşme, cep telefonlarında kullanılan bir protokoldür. Bu protokol vasıtasıyla daha güvenli ve analog iletişimden daha kaliteli bir kablosuz ortam sağlanmıştır. 1990'lı yıllarda GSM 900 ve GSM 1800 standartlaşması gerçekleşmiştir (URL-4, 2011).

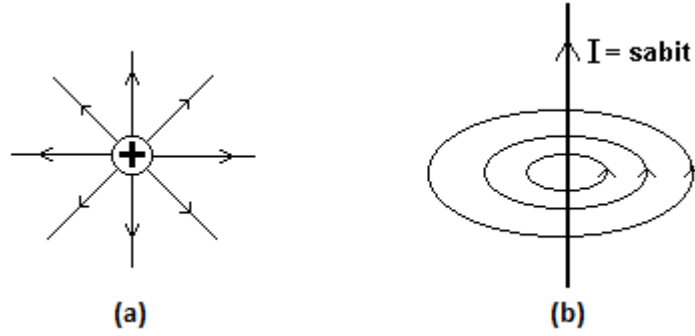
1990 yılında IEEE ile ilk kablosuz ağ standartlaşması gerçekleşmiştir (Çıbuk, 2009) (Killen, 1994) (Pastacı, 1996). Kablosuz yerel ağ, kablolu iletişime alternatif olarak geliştirilmiştir. Temel olarak elektromanyetik dalgaları baz alan RF (Radyo Frekansı) teknolojisi kullanarak havadan bilgi alışverişi yapan esnek bir iletişim sistemidir.

Bu tez konusu çalışmada, gerçekleştirilen algoritmanın en önemli deneysel ögesi elektromanyetik dalgalardır. İyonküreden iletilen dalganın alıcı tarafında oluşan yansıması, iletim hattında yaşanan kayıplar hakkında bilgi barındırmaktadır. Bu bilginin, iletim hattına dış ortamların etkisinin karakterize edilmesinde yardımcı olması beklenmektedir. İncelenen veriler, uzak vericilerden gönderilen VLF (Very Low Frequency) işaretlerinden, dünyanın değişik noktalarında kayıta olan işaret alıcı sistemlerin elde etmiş olduğu bilgilerdir. Bu bilgiler iyonküre üzerinden iletilmektedir. İyonküre, üzerinden radyo dalgalarının iletilmesini sağlayan iyonize bir yapıya sahiptir. Ancak iyonkürenin bu yapısı istikrarlı değildir. Çok çeşitli etmenler ile etkileşimde bulunarak işaretlerin kayıplara uğramasına sebep olmaktadır. İyonküre, depremlerde katmanların kırılıp hareket etmesi ile ya da depremi oluşturacak gerilime sebep olan çatlaklardan sızan radon gazları ile etkileşime girmektedir. Burada iletimi sağlayan iyonik yapı, radon gazının ile iyonize etme etkisi ile kayıpların değişmesine sebep olmaktadır. Yüzeyde oluşan çatlaklar yeryüzünün elektrik ve manyetik alanlarını değiştirmekte, bu da yer – iyonküre dalga kılavuzunun iletim parametrelerini değiştirmektedir. İyonkürede iletilen sinyalin kayıplarında etkin rol oynayan diğer bir parametre ise yerkürenin elektromanyetik alanının değişimidir. Yer kabuğu ve magmanın hareketi yerkürenin elektromanyetik alanının değişimine ve iletim hattı olan atmosferin kayıplarının değişimine sebep olmaktadır. Bu ise işaret değişimlerinin anlamlandırılması, doğa olayları ile ilgili yeni bilgilerin elde edilmesine sebep olacaktır. Depremleri oluşturan yer kabuğu hareketlerinin iyonküre üzerinden aktarılan VLF işaretlerine etkisini araştırma, olası depremlerin önceden tahmin edilmesine fayda sağlayacaktır (Hayakawa ve Molchanov, 2000) (Hayakawa, 1999) (Horie vd., 2006).

İyonküre iletkenliğinde gerçekleşen değişimlerin elektromanyetik dalga tayfında bulunan VLF sinyallerinin aktarımlarını nasıl etkilediğini araştırmadan önce bu elektromanyetik dalgaların daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir. Elektromanyetik dalgaları tanımak, hangi durumlardan etkilendiklerini bilmek işaretlerin aktarımı sırasında oluşacak olan değişikliklerin sebeplerini tespit etmek, sonuçlarını anlamlandırmak açısından faydalı olacaktır. Bu bölümde dalgaların mantıksal yapısı, denklemler ve matematiksel kuramları yakından incelenecek ve olası tüm etkenler gözden geçirilecektir.

2.2 Temel Elektromanyetik Kavramlar

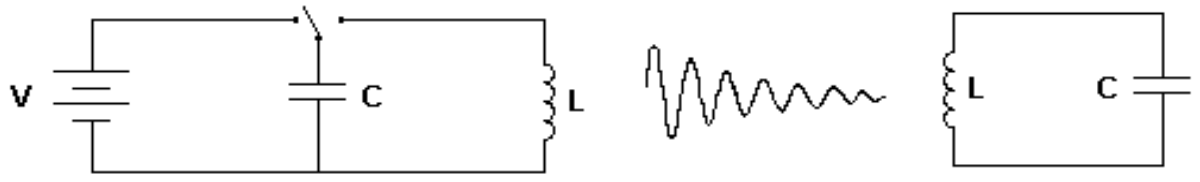
Şekil 2-1 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi elektrik alan elektrik yükleri tarafından, manyetik alan ise elektrik akımı tarafından oluşmaktadır.



Şekil 2-1 (a) Elektrik alan (b) Manyetik alan

Elektrik alan çizgileri pozitif yükten başlayıp, negatif yükte bitmektedir. Manyetik alan çizgileri hiçbir yerden başlamaz veya bitmez; ya kapalı bir eğri oluşturur ya da sonsuza gitmektedir. $\vec{E}$ alanının tersine $\vec{B}$ alanı için noktasal bir kaynak yoktur sonucu çıkarılabilmektedir.

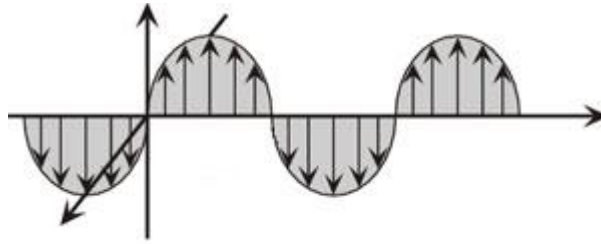
Zamana göre herhangi bir değişim yoksa elektrik ve manyetik alan birbirinden bağımsız halde bulunabilmektedir. Bu tanımla durağan veya düzgün doğrusal hareket eden bir yük elektromanyetik dalga oluşturmaz denebilmektedir. Elektromanyetik dalganın oluşması için yükün ivmelenmesi gerekir. Değişken bir manyetik alan oluşturmak için bir iletken alternatif akım geçirilmelidir. Alternatif akım iletken çevresinde elektrik alan ve manyetik alan oluşturacaktır. Böylece elektromanyetik dalga oluşturulmuş olacaktır (Erol, 2001).



Şekil 2-2 Elektromanyetik devre

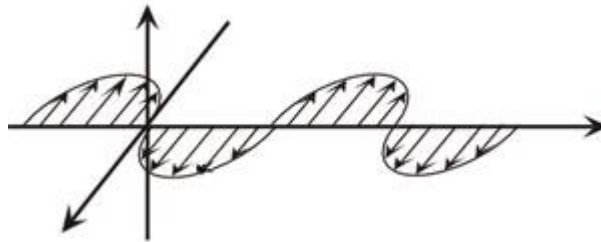
Şekil 2-2’de V gerilimi ile şarj edilmiş kondansatör, anahtar uçları sağ tarafa çevrilerek indüktans uçlarına bağlanırsa, devreden sönümlü bir alternatif akım akar. Akan bu akım elektromanyetik bir dalga yayınlar. Dalgalar tüm iletkenlerde aynı frekanslı indüksiyon akımları meydana getirmektedirler (Erol, 2001).

Elektrik yükleri, elektromanyetik dalgaların temelidir ve ivmelendirilmiş elektrik yükleri elektromanyetik dalgaları oluşturmaktadır.



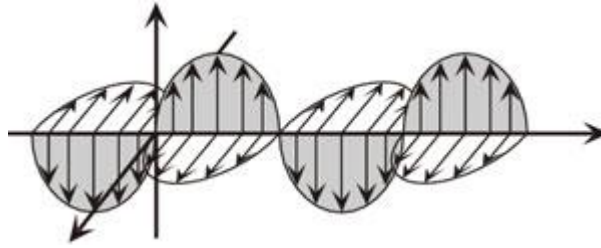
Şekil 2-3 Elektriksel dalga

Şekil 2-3’de olarak gösterilen elektriksel dalga, bir iletkenin geçirilen akımı ile oluşmaktadır. Bu elektriksel dalga üreten iletken tel bir ivme ile hareket etmesiyle Şekil 2-4’de verilen manyetik dalga oluşmaktadır. Elektrik ve manyetik dalgalar birlerini meydana getirerek ilerlemektedirler.



Şekil 2-4 Manyetik dalga

Elektromanyetik dalgaları oluşturan elektrik ve manyetik dalgalar boşlukta Şekil 2-5’de gösterildiği gibi doğrusal bir yol boyunca birbirlerine dik olarak titreşen elektrik ve manyetik alanlardır. Bu nedenle elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar Maxwell denklemleri ile tanımlanmaktadır (Erol, 2001). Bu denklemler herhangi bir noktadaki elektrikselsel ve manyetik alan ilişkisini konum ve zamana bağlı olarak tarif etmektedir.



Şekil 2-5 Elektromanyetik dalga

Elektromanyetik dalga boşlukta ışık hızında hareket etmektedir (Erol, 2001). Yayılan dalgalar, yüklerden çok uzakta algılanabilmektedir. Elektromanyetik dalgalar çok geniş bir tayfı kapsar.

2.2.1 Elektrik Alan

Birim yüke etki eden kuvvet olarak elektrik alanı tanımı yapılabilmektedir. Kuvvet artı yükten eksi yüke doğrudur. Elektrik alan çizgileri yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğrudur da denebilmektedir (Sevgi, 2004).

Bir Q test yükünden $\vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_n$ uzaklıklarda bulunan $q_1, q_2, \dots, q_n$ yüklerinin Q yüküne uyguladıkları toplam kuvvet, toplanabilirlik ilkesine göre,

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1 Q}{R_1^2} \hat{R}_1 + \frac{q_2 Q}{R_2^2} \hat{R}_2 + \dots \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R_1^2} \hat{R}_1 + \frac{q_2}{R_2^2} \hat{R}_2 + \dots \right) \quad (2-1)$$

veya

$$\vec{F} = Q \vec{E} \quad (2-2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

$$\vec{E}(p) = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{R_i^2} \hat{R}_i \quad (2-3)$$

şeklindedir.

$\vec{E}$ vektörü q_i yüklerinin, Q yükünün bulunduğu yerde oluşturduğu elektrik alanını göstermektedir. Elektrik alan, hesaplanan konumun bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Denklem (2-3)'deki elektrik alan tanımı noktasal yükler içindir. Uygulamada genellikle bir bölgede sürekli dağılmış yüklerle de karşılaşmaktadır.

Bir eğri üzerinde dağılmış çizgisel yükün yoğunluğunu λ , bir yüzey üzerine dağılmış yükün yüzeysel yük yoğunluğunu σ , ve bir hacim içine dağılmış yükün hacimsel yük yoğunluğunu ρ ile gösterilirse;

Bir çizgisel yük dağılımının elektrik alanı:

$$\vec{E}(p) = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int_{\text{egri}} \frac{\hat{R}}{R^2} \lambda dl \quad (2-4)$$

Yüzey yük dağılımının elektrik alanı:

$$\vec{E}(p) = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int_{\text{yüzey}} \frac{\hat{R}}{R^2} \sigma ds \quad (2-5)$$

Hacimsel yük dağılımının elektrik alanı:

$$\vec{E}(p) = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int_{\text{hacim}} \frac{\hat{R}}{R^2} \rho dv \quad (2-6)$$

olarak hesaplanmaktadır.

2.2.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, v hızı ile hareket eden bir q yüküne F kuvvetini oluşturan vektörel büyüklüktür (Sevgi, 2004). Manyetik alan çizgileri kendi üzerine kapanmaktadır. Bu çizgiler akımı çevrelemektedir.

Durgun bir yük sadece $\vec{E}$ elektrik alanı oluşturmaktadır (Sevgi, 2004). Hareketli yük, elektrik alana ek olarak $\vec{B}$ manyetik alanı da oluşturmaktadır (Erol, 2001). Bir $\vec{B}$ manyetik alanında $\vec{v}$ hızıyla hareket eden bir Q yüküne etkiyen manyetik kuvvet;

$$\vec{F}_{mag} = Q \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (2-7)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Kararlı bir akım geçen telin manyetik alanı Biot – Savart yasası ile bulunabilmektedir.

$$\vec{B}(p) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{I} \times \hat{R}}{R^2} dl = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{l} \times \hat{R}}{R^2} \quad (2-8)$$

İntegral tel boyunca ve akım yönünde gidilerek alınır; $d\vec{l}$ küçük bir tel uzunluğudur. Her zaman olduğu gibi $\vec{R}$, akım parçasından P noktasına çizilen vektördür. μ_0 sabiti boşluğun manyetik geçirgenliği olup değeri;

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N / A}^2 \quad (2-9)$$

dir. Bu seçim sonucu $\vec{B}$ manyetik alanı Newton / amper-metre veya tesla (T) biriminde çıkmaktadır.

2.3 Maxwell Denklemleri

Elektromanyetik büyüklükler arasındaki ilişkileri Maxwell denklemleri ile tanımlanmıştır. Maxwell denklemleri daha önceden bulunmuş olan kuramların matematiksel olarak ispatlanmış halidir. Elektromanyetik alan teorisini sağlam bir zemine oturtmuştur. Her türlü alan ve devre problemlerini çözülebilir kılmıştır.

Denklemlerin türetildiği iki temel kuram bulunmaktadır.

- 1) Zamana göre değişen elektrik alan bir manyetik alan oluşturmaktadır.
- 2) Zamana göre değişen manyetik alan bir elektrik alan oluşturmaktadır.

Bu kuramlar ışığında aşağıdaki denklemler türetilmiştir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2-10)$$

Denklem (2-10)'de gösterilen ifade Gauss kanunu olarak da adlandırılmaktadır. Statik alan için bu kanun Cloumb kanununa eşittir. Gauss kanunu kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akısının, bu yüzey tarafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan toplam net yüklerle orantılı olduğunu ifade etmektedir. Fiziksel anlamı ise elektrik alanın skaler kaynağının

yük yoğunluğu olduğunu tarif etmektedir. Bu denklem ile elektrik alanın noktasal olarak yüklerde sonlandığı sonucunu ifade edilmiştir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2-11)$$

Denklem (2-11)'de, kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akısının sıfır olduğunu ifade edilmektedir. Bu durum manyetik yüklerin var olmadığını göstermektedir. Bu bilgi manyetik alanın skaler kaynağının olmadığını sonucunu doğurmaktadır.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2-12)$$

Elektrik alanın vektörel kaynağının, zamanla değişen manyetik akı olduğunu ifade etmektedir. Herhangi bir kapalı eğri üzerinde elektrik alanın dolaşımı, eğrinin çevrelediği yüzey üzerindeki manyetik akının negatifinin zamanla değişimine eşit olduğunu ifade etmektedir. Faraday yasası olarak da bilinen ifade denklem (2-12)'de gösterilmiştir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (2-13)$$

Denklem (2-13), Ampere yasasının Maxwell tarafından düzenlenmiş şekli olarak tanımlanır. Maxwell bu denkleme yaptığı katkı, elektromanyetik teorisinin neredeyse temel çatısını oluşturmaktadır.

Maxwell bu dört denklemden yararlanarak zamanla değişen elektrik ve manyetik alanların birbirleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Zamanla değişen elektrik alanın denklem (2-13)'e göre yanında bir manyetik alan yarattığını, bu bölgede zamanla değişen bir manyetik alanında denklem (2-12)'e göre bir elektrik alan doğurduğunu, böylece elektrik ve manyetik alanların birbirlerini oluşturarak elektromanyetik dalganın uzayda yayıldığını, herhangi bir anda elektrik ve manyetik alanın bir yayılma doğrultusuna ve birbirlerine dik olduğunu, elektromanyetik dalgaların boşlukta ışık hızında yayıldıklarını, enerji ve momentumu bir bölgeden diğerine taşıdıklarını kanıtlamıştır.

2.3.1 Elektromanyetik Alanı İfade Eden Dalga Denklemlerinin Çıkarılması

Elektromanyetik dalgalar kaynaktan uzaklaştıktan sonra küresel ve düzlemsel dalgalara dönüşmektedir (Erol, 2001). Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine ortam parametreleri

ve tanımlı dalga empedansı (Z) ile bağlanmaktadır. Bu değer boşlukta Z_0 olarak tanımlanmaktadır.

Dalga Denklemleri

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{\vec{\nabla} \rho}{\epsilon_0} + \mu_0 \cdot \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} \quad (2-14)$$

$$-\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{\nabla} \times \vec{J} - \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (2-15)$$

şeklinde olur. Denklemlerin sol tarafı alan bileşenleri, sağ tarafı ise kaynak bileşenleri olarak ifade edilir. Bu ifadelerde kaynak terimleri yoksa, yani $\rho = 0$ ve $J = 0$ ise;

$$\nabla^2 \vec{E} - \epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (2-16)$$

$$\nabla^2 \vec{B} - \epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (2-17)$$

şeklinde dalga denklemleri yeniden elde edilebilir. Bu denklemler (2-18) formundadır. Denklem;

$$\nabla^2 f - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0 \quad (2-18)$$

Denklem (2-18) formu bir klasik dalga denklemi olup, v hızıyla ilerleyen bir dalganın hareketini belirlemektedir.

$\vec{E}$ ve $\vec{B}$ için ayrı ayrı elde edilen dalga denklemlerinde v hızının değeri;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/sn. olur.} \quad (2-19)$$

olur. Bu hız, ışık hızına eşittir ve elektromanyetik dalganın boşlukta ışık hızında yayıldığını ispatlamaktadır. Boşluk dışındaki bir ortamda yayılan dalganın hızı;

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (2-20)$$

formülü ile hesaplanır. Burada $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ ve $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ olduğundan, elektromanyetik dalganın yayılma hızı, maddenin elektrik ve manyetik özelliklerine bağlıdır. Bu hız elektromanyetik dalganın boşluktaki hızı olan ışık hızından daha küçüktür.

2.4 Dalga Parametreler

2.4.1 Karakteristik Empedans

$\frac{E}{H}$ oranına, karakteristik empedans denir. Z ile gösterilir (Erol, 2001).

$$Z = \frac{E}{H} = \frac{k}{\omega\varepsilon - j\sigma} = \frac{\omega\mu}{k} \quad (2-21)$$

Burada,

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow v = \frac{\omega}{k} \text{ formülü ile elde edilir. Boşlukta dalga hızı } v = c \text{ olduğundan ,}$$

$\frac{\omega}{k} = c$ olur. Boşluğun karakteristik empedansı;

$$Z_0 = \frac{\omega\mu_0}{k} = 377\Omega \quad (2-22)$$

olarak bulunabilir.

2.4.2 Dalga Numarası

$$k^2 = \omega^2\varepsilon\mu \cdot (1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}) \quad (2-23)$$

formülü ile hesaplanır. Buradaki $\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$ terimi, zayıflama katsayısıdır. Joule kayıplarını verir. Yüksek frekanslarda bu terim ihmal edilebilir düzeye iner.

2.4.3 İletkenlik

İletkenlik, J iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır (Sevgi, 2004). Birimi S/m'dir.

2.4.4 Elektriksel Geçirgenlik

ϵ elektrik akı yoğunluğunun elektrik alana bölünmesiyle tanımlanır (Sevgi, 2004).

2.4.5 Manyetik Geçirgenlik

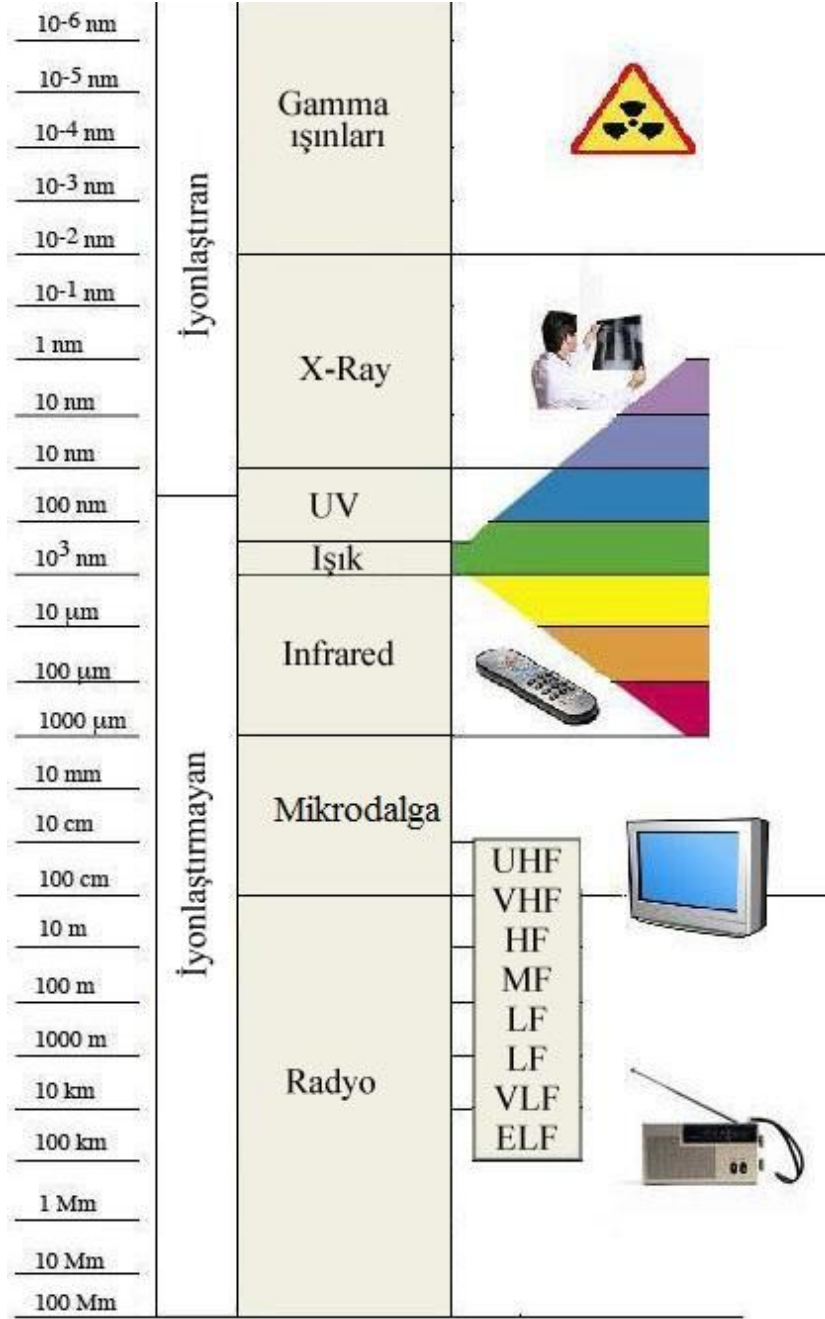
Manyetik geçirgenlik, μ manyetik akı yoğunluğunun manyetik alana oranı olarak tanımlanır (Sevgi, 2004).

Üç parametre (ρ, ϵ, μ) ile belirlenen ortamlar elektriksel olarak değişik gruplara ayrılırlar (URL-2, 2011). Bunlar;

- İletkenler ($\rho = \infty, \mu = \mu_0$): Yapılarında serbest hareket edebilen elektronları barındırmaktadır.
- Yalıtkan malzemeler ($\rho = 0, \mu = \mu_0$): Bünyelerinde serbest elektron bulundurmamaktadır.
- Kayıplı malzemeler ($\rho \neq 0, \mu = \mu_0$): İçlerinde sınırlı oranda serbest elektronu bulunan malzemelerdir.
- Manyetik malzemeler ($\mu \neq \mu_0$): Manyetik alanı iyi bir şekilde kılavuzlama özelliğine sahip olan malzemelerdir.

2.4.6 Deri Kalınlığı

Elektromanyetik dalgaların iletken cisimlere nüfuz etmedikleri kabul edilse de mükemmel olmayan iletken cisimlere bir miktar nüfuz edebilmektedirler (Sevgi, 2004). Elektromanyetik dalgalar iletken ortam içerisinde ilerledikçe genlikleri üstel olarak azalmaktadır. Bu zayıflamanın hızı frekans ve iletkenlik ile orantılıdır. Elektromanyetik dalganın genliğinin $1/e'$ ye düştüğü derinlik deri kalınlığı / cidar kalınlığı olarak adlandırılıp, δ ile gösterilmektedir.



Şekil 2-6 Elektromanyetik tayf

2.5 Elektromanyetik Tayf (Spektrum)

Elektromanyetik tayf gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar bilinen tüm elektromanyetik dalgaları içeren dizilimdir. Tayf, Şekil 2-6'de gösterilmiştir. Radyo dalgaları, en kısa boylu dalgalardan gama ışınlarına kadar olan aralıktaki küçük bir kısmı kapsar (URL-3, 2011). Radyo dalgalarının içerisindeki VLF aralığı, tezin veri elde etme yöntemlerinin bir parçasıdır. Bu tayfı oluşturan kategorilerin kesin bir sınır yoktur. Bazı

durumlarda aslında başka kategorilerde yer alan ışınlamalar, diğerk bir kategorinin dalga boyu aralığında olabilmektedir.

2.5.1 Gamma Işınları

Dalga boyu 0,01 nanometreden daha küçük ışınlamalar olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik tayfin en yüksek enerji ve frekanslı bölgesinde bulunmaktadır. Süpernova patlamaları, pulsarlar, karadelikler ve kuazarlar gibi cisimlerde meydana gelen nükleer tepkimeler sonucu oluşmaktadır.

2.5.2 X Işınları

Dalga boyu 0,01 ile 10 nanometre arasında olan ışınlardır. X ışınları yumuşak maddelere nüfus edebilmektedir.

2.5.3 Morötesi (UV) Işınlamalar

10 ile 400 nanometre arasında dalga boyuna sahip ışınlardır. Güneş oldukça güçlü bir morötesi ışın kaynağıdır (Orhun ve Tanışlı, 2007). Güneşin morötesi ışınlamaları atmosferin üst katmanlarındaki atomlar ile etkileşerek çok sayıda iyon üretmektedir. Yaklaşık 80 km den yuksekteki iyonize haldeki katmana bu sebeple iyonküre denmektedir.

2.5.4 Görünür Işınlamalar

400 ile 700 nanometre arasında dalga boylarına sahiptirler. Işık diye hitap edilen elektromanyetik tayfin bu küçük bölümü insanlar tarafından görülebilmektedir. Bu bölüm mor ile başlayıp kırmızı ile bitmektedir.

2.5.5 Kızılötesi (IR) Işınlamalar

700 nanometre ile 1 milimetre arası dalga boylara sahiptirler. Bütün sıcak ve soğuk maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Atomlar tarafından emildiklerinde maddeyi ısıtırlar (Akbal, 2008).

2.5.6 Mikrodalga Işınları

1mm ile 1 metre dalga boylarına arasındaki ışınları kapsamaktadır. Radarlarda kullanılan çok kısa dalga boylarına sahip radyo dalgalarıdır. Aynı zamanda mikro dalga fırınlarda ve kablo gerektirmeyen uzak mesafe iletişimlerinde kullanılmaktadır (Akbal, 2008).

2.5.7 Radyo Dalgaları

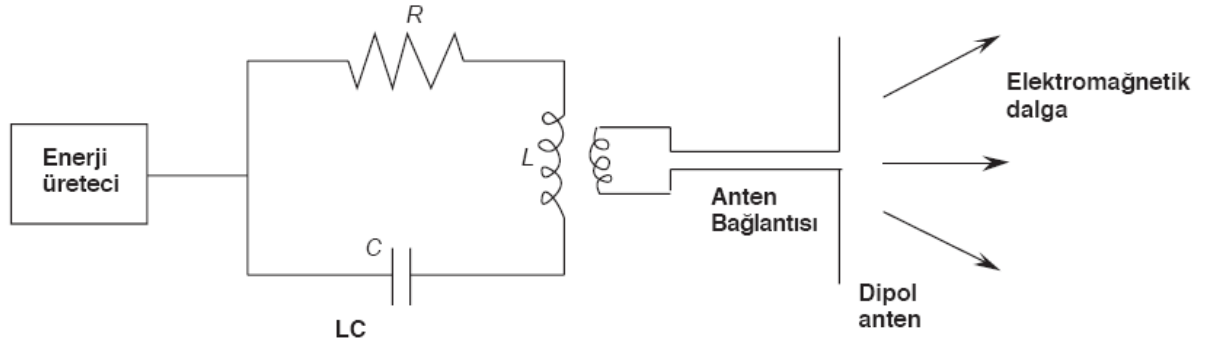
Dalga boyları 1 milimetreden uzun dalgalardır. En uzun dalga boyuna sahip oldukları için en düşük enerji ve sıcaklıklara sahiptirler. El telsizlerinde gelişmiş uzay haberleşme sistemlerine kadar birçok platformda kullanılmaktadır. Radyo dalgaları, binlerce kilometreden bir milimetreye kadar dalga boylarına sahip oldukları rezonansa uygun anten ve modülasyon teknikleri kullanarak analog veya dijital veri aktarım kanallarıdır. Televizyon, cep telefonu, kablosuz bilgisayar ağları, gibi uygulamalar radyo dalgaları kullanmaktadır (Akbal, 2008).

2.6 Elektromanyetik Dalganın Üretilmesi

Elektromanyetik dalga üretilmesi Şekil 2-7’de gösterilen Elektromanyetik dalga üretici devreler ile mümkündür (Canyılmaz, 2008). Elektromanyetik dalga üretici, denklem (2-24)’de hesaplanan frekans ile titreşen LC devresi barındırmaktadır.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2-24)$$

Sistemdeki yük ve akımlar, verilen rezonans frekansında salınmaktadır. Elektromanyetik enerji, titreşim periyodunun yarısında, yüklerin kondansatörde elektrik enerjisi depolaması, diğer yarısında ise akımların bobinde manyetik enerji depolaması şeklinde üretilmektedir (Orhun ve Tanışlı, 2007). Bobin karşısındaki anten devrenin w frekanslı salınımı ile rezonans frekansına ulaşmaktadır. Devre çevreye elektromanyetik dalga şeklinde enerji yayımlar.



Şekil 2-7 Elektromanyetik dalga üretici devre

2.7 Çok Alçak Frekans (VLF-Very Low Frequency)

Elektromanyetik tayf da radyo dalgaları sınıfına dahil olan VLF, 3-30 KHz frekans bandı arasında değişmektedir. Bu bantta yalnızca birkaç özel amaçlı istasyon çalışmaktadır (Canyılmaz, 2008). Çok alçak frekanslı dalgalar hemen hemen bütünüyle iyonküreden yansıtma yoluyla iletilmektedir. İşaret gücü, yer dalgalarındaki zayıflamaya bağlı olarak KW'lar mertebesindedir.

VLF dalgaları denizcilik haberleşmesi, askeri amaçlı haberleşmeler ve uzak mesafe haberleşmelerinde kullanılmaktadır. Deniz suyunun iletkenliği, deniz altı iletişiminin güçlüğüle yapılması sonucunu doğurmaktadır (URL-1, 2011). Bu iletkenlik elektromanyetik iletişime büyük ölçüde engel teşkil etmektedir. VLF işaretleri deniz suyunun daha derinlerine ulaşmada diğer alternatiflere göre daha başarılı sonuç vermektedir (Canyılmaz, 2008). Ancak denizaltılara dev vericilerin yerleştirilmesi ile ilgili teknik sıkıntı ve düşük veri aktarım kapasitesi kullanım alanını acil durum gibi daha kritik uygulama alanlarına kaydırmaktadır.

Bununla birlikte 20 KHz'lik vericiler kullanılarak boru hattı denetim ölçümleri yapılmaktadır. Amatör radyocularda, ev yapımı büyük antenlerle VLF işaretleri kaydedip, verileri yüksek hızlarda tekrar dünyanın elektromanyetik alanının doğal dalgalanmalarının sesini yakalamaya çalışmaktadırlar.

VLF işaretleri atmosferde iyonlaşmış bölgenin alt sınırı ile yer kabuğu arasında yayılırlar. Bu yayılım alanı Yer-İyonküre dalga kılavuzu olarak adlandırılabilir.

VLF işaretleri atmosferin D bölgesinde yansıyarak yayılmaktadır. Bu bölge bu frekans bandı için iyi bir yansıtıcı olarak görev yapmaktadır (Canyılmaz, 2008).

VLF bandında yayın yapmanın mevcut problemleri en başında söylenmesi gereken vericilerin anten boylarıdır. Verici ölçüleri, üretilen sinyalin dalga boyu ile orantılı olmak zorundadır. Modülasyon sonucunda çok az bilgi taşıyabilmeleri ve vericilerin pahalı olması diğer frekans bantlarından daha az kullanılmalarına sebep olmaktadır.

VLF dalgalarının iyonküreden yansımaları burada bulunan iyonlaşmaya bağlı olarak şekillenecektir. Bu bölgedeki elektron yoğunluğu, iletim kayıplarını şekillendiren önemli bir parametredir. Elektron yoğunluğu işaretlerin genlik ve fazlarında değişikliklere yol açmaktadır. Bu bölgede yansıtılan işaretler iyonlaşmaya bağlı olarak tepki vermektedir. Tablo 2-1’de radyo dalgalarının frekans aralıkları ve dalga boyları ile ilgili bilgi verilmiştir.

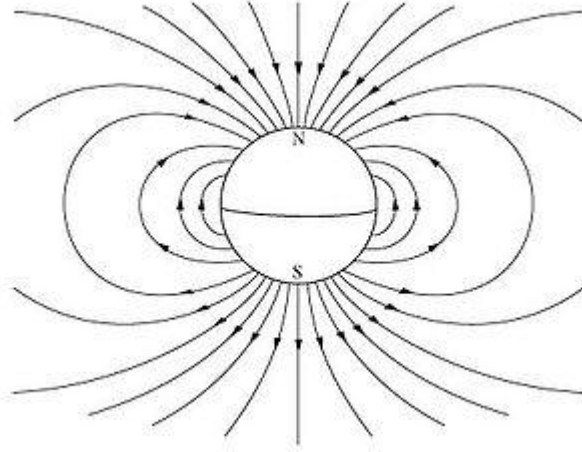
Tablo 2-1 Frekans aralıkları listesi

Adı		Frekans Aralığı	Dalga Boyu
ELF	extremely low frequency	3Hz to 30Hz	100.000km to 10.000 km
SLF	superlow frequency	30Hz to 300Hz	10.000km to 1.000km
ULF	ultralow frequency	300Hz to 3000Hz	1.000km to 100km
VLF	very low frequency	3kHz to 30kHz	100km to 10km
LF	low frequency	30kHz to 300kHz	10km to 1km
MF	medium frequency	300kHz to 3000kHz	1km to 100m
HF	high frequency	3MHz to 30MHz	100m to 10m
VHF	very high frequency	30MHz to 300MHz	10m to 1m
UHF	ultrahigh frequency	300MHz to 3000MHz	1m to 10cm
SHF	superhigh frequency	3GHz to 30GHz	10cm to 1cm
EHF	extremely high frequency	30GHz to 300GHz	1cm to 1mm

2.8 Yerkürenin Elektromanyetik Alanı

Elektromanyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Yerkürede herhangi bir noktanın ölçülen elektromanyetik alanı, aslında farklı kaynakların o noktada meydana getirdiği etkiye bağlı olarak oluşur. Kaynakların oluşturmuş olduğu vektörel elektromanyetik alan büyüklüklerinin toplamı yerküredeki bu noktanın manyetik alan büyüklüğünü vermektedir. Bu kaynakların başlıcaları; Esas elektromanyetik alanlar, Anomali elektromanyetik alanı ve Dış kaynaklı elektromanyetik alanlardır (Baydemir, 2003). Yerkürenin gerçek elektromanyetik alanın kaynağı, sıvı dış çekirdeği ile çekirdek-manto sınırındadır.

Anomali kaynak yer kabuğundadır. Dış kaynaklı alan ise iyonküre ve manyetosfer tabakalarından kaynaklanır.



Şekil 2-8 Yerkürenin manyetik alanı çizgileri

Esas elektromanyetik alan iki temel bileşenin etkisi altında oluşur. Bunlar, Dipol alan ve Dipolsüz alandır (Baydemir, 2003).

Yerkürenin elektriksel iletkenliği ve yüksek sıcaklığa sahip sıvı dış çekirdeği içerisindeki konveksiyon akımları dipol alanı oluşturur. Bu konveksiyon akımları, elektromanyetik alanın oluşmasını sağlar (Canyılmaz, 2008). Dipol alan yerkürede kuzey ve güney olmak üzere iki manyetik kutbu oluşturur. Dipolsüz alan ise yerkürenin çekirdek-manto sınırındadır (Baydemir, 2003).

3 İYONKÜRE VE İYONKÜRE PARAMETRELERİ

3.1 Giriş

Atmosferde işaretlerin taşınmasını sağlayan, yansıtıcı iletken bir tabakanın varlığı 1839 yılında Gauss tarafından ortaya atılmıştır. İspatı 1901 yılında Marconi tarafından yapılan Atlas Okyanusun iki yakası arasında sinyal taşınması deneyi ile gerçekleşmiştir (Belrose, 1995). 1902 yılında bir birinden bağımsız olarak, jeomanyetik araştırmalar yapan O. Heaviside, A.E. Kennelly ve O. Lodge, atmosferin üst kısımlarında elektriksel iletimi sağlayan bir tabaka olduğunu öne sürmüşlerdir (Barclay, 1995). Aynı yılda yapılmış olan diğer bir çalışma ile O. Lodge, bu iletimin gerçekleşmesini sağlayan sebebin, güneşten gelen mor ötesi ışınların nötr bileşenlerin iyonlaşmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. İletken tabakanın özellikleri arasında aynı zamanda zayıflatıcı bir yapısının da olduğunu belirtmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bilgilere rağmen iyonkürenin varlığı yaklaşık 20 yıl sonra kabul görmüştür (Rodriguez, 1994). 1902’de yapılan çalışmalardan 20 yıl sonra 1918-1919 yıllarında, Watson konu hakkında önemli birkaç makale yayınlamıştır. Bu çalışmalarında, Marconi’nin, sinyallerin saçılarak yayılmasının, sinyal şiddetleri ile açıklanamayacağını belirtmiştir. Üst atmosferde eş merkezli iletken tabakalar ile yapılacak olan hesaplamalar ile işaret şiddetlerinin karşılaştırılarak tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Watson’un 1918 yılında önermiş olduğu yüksek iletkenliğe sahip üst atmosfer koşulları alt iyonkürede yayılan radyo dalgaları için hatalı sonuçlar vermiştir (Waynick, 1957) (Galejs, 1972). İyonlaşmış tabakaların kırılma indisleri hakkında çalışma yapan E.V. Appleton manyeto-iyonik formüller ile 1920 yılında bu teoriyi deneysel sonuçlar ile ispatlamıştır. Bilinen haliyle iyonküre 1925 yılında Thomson’un elektronu keşfinden sonra şekillenmiştir. Appleton 1927-1930 yılları arasında atmosferin tabakaları olan D, E ve F ‘yi tanımlamıştır. E tabakası Kennelly ve Heaviside tarafından 1902’de hazırlanmış olan hipotez ile tanımlandığı için isimleri ile anılmaktadır (Rishbeth, 1967) (Rishbeth ve Mendilloa, 2001).

Daha sonra yapılan araştırmalarda, Appleton ve Hartree, manyetik alan etkisindeki atmosferde radyo dalgalarının yayılması kuralını ortaya koymuştur (Rishbeth, 1967) (Rishbeth ve Mendilloa, 2001). İyonkürenin yapısı ve davranışının tespiti için sonraki

yıllarda iyonosondalar atmosferden bilgi toplamak için iyonküreye yollanmıştır. 1957 yılında Sputnik ile atmosfer hakkında bilgi toplayabilmek için uydular kullanılmaya başlanmıştır (Huffman vd., 1963) (Rishbeth ve Garriot, 1969). Günümüzde iyonküre hakkındaki bilgiler, uydular vasıtasıyla elde edilmektedir. İyonkürenin davranışlarının anlamlandırılması ve dış etmenlerle olan etkileşimlerinin anlaşılabilmesi için iyonkürenin iletim davranışına etki eden parametreler hakkında bilgi sahibi olunmalıdır (URL-4, 2011).

Güneşin hareketliliği, jeomanyetik karışıklık dönemleri, yerkürenin durumu ve depremler gibi etkenler iyonkürenin davranışını değiştirmektedir. Tam anlamıyla iyonkürenin karakteristiğini çıkarmak, değişen etmenler karşısındaki vereceği tepkilerinin anlamlandırılması konusunda yardımcı olacaktır (Turan, 2006). Bu kapsamda iyonküre ve iyonkürenin elektromanyetik dalgalarının iletimindeki rolü iyi bir şekilde kavranmalıdır. Vericiden üretilen elektromanyetik dalgaların alıcıya ulaşmadan evvel aktarımın sağlandığı atmosferde hangi kayıplarla iletildiğini bilmek önemlidir. Alıcı ve verici arasındaki dalga farkı ortamın etkisi ile şekillenir. Kayıpların analizi alıcı sistem üzerinde gerçekleştirilebilir.

Bir depremin oluşumundan önceki süreçlerde, iyonkürenin dalgaları yansıtma özelliğini değiştirecek etkilerde bulunmaktadır (Molchanov vd., 1998) (Hayakawa, 2008). Depremler dünyanın elektromanyetik alan değişimlerinden tetiklenebilmektedirler (Karatay, 2010). İyonkürenin, depremlerden önceki birkaç gün içerisinde, yansıtılmasını sağladığı elektromanyetik dalgalar üzerinde bazı analiz edilebilir değişiklikler göstermektedir (Hayakawa, 1999). Bu değişiklikleri karakteristik olarak anlamlandırabilmek, depremlerin gerçekleşmeden önce tahminini sağlama olasılığını ortaya koymaktadır. Bu bölümde iyonküre ve iyonkürenin elektromanyetik dalga iletiminde etkilere sahip olan tüm parametreleri incelenmeye çalışılacaktır.

3.2 İyonkürenin Yapısı ve Tabakaları

İyonkürenin de içerisinde bulunduğu atmosfer, çeşitli gazları barındıran bir hava tabakasıdır. Atmosfer içerisindeki iyonkürenin yaklaşık olarak 50 km'den başladığı ve H_e^+ ve H^+ iyonlarının yoğunluğu oluşturduğu yüksekliğe kadar devam ettiği kabul edilmektedir. İyonküre elektriksel olarak nötr davranış sergilemektedir.

İyonküre haberleşme sistemlerinin en önemli yayılım ortamıdır. İyonkürenin bu denli önem teşkil etmesi, üzerine yapılan araştırmaları artırmaktadır. Amaç iletişim kalitesini artırmaya yönelik olarak yenilikler elde etmek olduğu için sürekli iletim ortamı davranışları takip edilmektedir. Elektromanyetik dalgaların yayılımını sağlayan atmosferin yalıtkan olduğu kabul edilirse, sinyal yer-iyonküre dalga kılavuzu ortamında salınım yapacaktır.

Atmosferin elektromanyetik dalga iletiminde etkin rol oynayan iyonküre tabakasının, serbest elektron ve iyonlardan oluşmasını sağlayan temel etken güneş ışınlarıdır. Güneşten gelen ışınlamalar, atmosfer tarafından emilerek sıcaklığın değişmesine sebep olmaktadır. Değişen sıcaklık moleküllerin iyonlaşmasına ve elektronların serbest kalmasına sebep olmaktadır (Ratcliff, 1972).

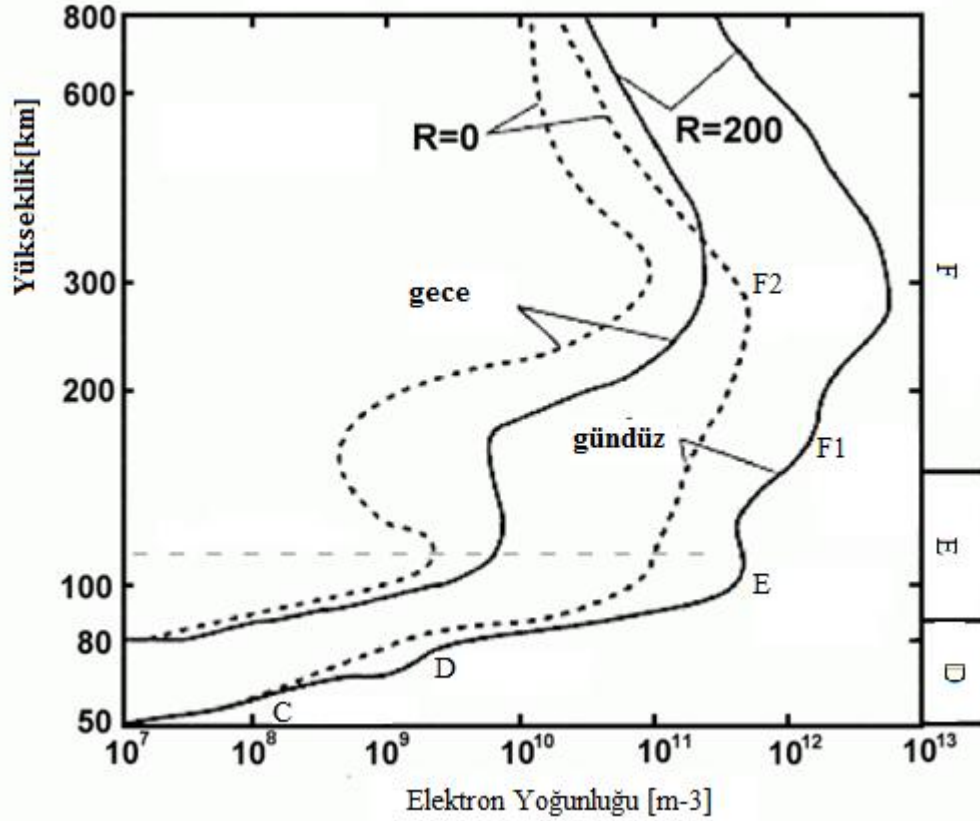
Elektromanyetik dalgalar için en uygun iletim ortamı gece şartlarında oluşan elektron yoğunluğudur. İyonlaşma ve iletkenlik değişiminin bağlı olduğu 5 temel etken vardır.

- 1- Günün saatlerine bağlı olan değişimler
- 2- Mevsimlerin oluşturdukları değişimler
- 3- Güneş lekeleri
- 4- Kaynağı belirsiz anomaliler
- 5- Depremler

Depremlerin iyonküre üzerinde oluşturdukları etkileri, iyonoküreyi yansıtıcı olarak kullanan alıcı ve vericilerin iletmiş olduğu sinyaller üzerinde belirgin değişimlere sebep olduğu yapılan çeşitli araştırmalarla ortaya atılmıştır (Muto vd., 2009) (Yamauchi vd., 2007) (Molchanov vd., 1998). İletkenlik gündüzleri güneş ışığının ve lekelerinin etkisiyle çok yüksek olmaktadır (URL-6, 2011).

İyonküre D, E, F bölgeleri olarak isimlendirilen iyonlaşmış tabakalardan oluşur. F bölgesi kendi içerisinde farklı özelliklere sahip olan F1 ve F2 olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Güneşten gelen ışınlamaların emiliminin fazla olduğu bölgelerde iyonlaşmada fazla olacaktır. Kütlesinin hafif olduğu için elektronlar üst katmanlarda daha fazla bulunmaktadır. Elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu bölge F2 bölgesidir. İyonküre tabakaları gece ve gündüz saatlerinde farklı davranışlar göstermektedirler. Gün içerisinde güneşten gelen ışınlama iyonküre, yerküreden atmosfere, D, E, F1 ve F2 katmanlarının tamamını birden bulundururken, güneş ışınlamının olmadığı gece saatlerinde D katmanı

tamamen ortadan kalkmaktadır. Aynı zamanda E katmanı zayıflamakta ve F1 ve F2 katmanları birleşip tek F katmanına dönüşmektedir (URL-4, 2011). Gece ve gündüz elektron yoğunluklarının yüksekliğe bağlı değişimleri Şekil 3-1’de verilmiştir.



Şekil 3-1 İyonküre elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi

3.2.1 D bölgesi

İyonkürenin en alt tabakası olarak tanımlanan D bölgesi 50 ila 90 km arasındaki bir bölgedir. D tabakasında iyonlaşmanın ana kaynağı güçlü X-Işınları ve Lyman- α ışımlarıdır. D bölgesi sadece gündüz saatlerinde var olan bir bölgedir. Gece boyunca yaşanan kayıplardan dolayı yok olmaktadır. Gündüz saatlerindeki elektron yoğunluğu fazladır. Bu bölge için en fazla karışıklıkların meydana geldiği bölge denebilmektedir. Bu karışıklıkların çeşitli sebepleri vardır. Bu sebepler arasında güneş patlamaları, meteorolojik olaylar, jeomanyetik anomaliler ve dünyanın manyetik alanının değişimleri söylenebilmektedir (Cezibarak, 2005) (Whitten ve Poppoff, 1971) (Aydoğdu, 1980).

Güneşten gelen X-ışınları ve kozmik ışınlar, atmosferdeki tüm gazların iyonlaşmasının kaynağı olarak gösterilebilmektedir. Pozitif iyonlar ve serbest elektronlar iki farklı yol ile üretilmektedir. Güneşten gelen X-ışınları ile N_2 ve O_2 molekülerinin foto iyonlaşması ve atmosferin küçük bileşeni NO'nun güneşten gelen Lyman- α iyonlaşması denklem (3-1)'deki reaksiyonu gerçekleştirir (Huffman vd., 1963) (Lee ve Weissler, 1953).



Bu tabakaların ionosondalar vasıtasıyla incelenmesi, gece süresince D bölgesindeki düşük elektron yoğunluğundan dolayı mümkündür. Bu bölgedeki iyonkürede gerçekleşen geçici karışıklıkların çok düşük frekanslı (VLF) dalgalar ile uzaktan algılama sistemlerinde kullanılması çoğu araştırmaya konu teşkil etmiştir (Hayakawa, 2008) (Hayakawa, 1999) (Canyılmaz, 2008) (Karatay, 2010). Yapılan bu çalışmalarda VLF dalgalarının iyonkürenin D bölgesinden yansması kuralı üzerine kurulu olduğu görülmektedir. D bölgesi VLF dalgaları için önemli bir yansıtıcı özellik taşımaktadır. Yerküre ve iyonkürenin bir küresel dalga kılavuzu gibi davranması ile düşük frekanstaki işaretlerin uzak mesafelere ulaşması mümkün olmaktadır. Bu bölgedeki yansıma elektron yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. D bölgesi yer-iyonküre dalga kılavuzu olarak adlandırılmaktadır (Canyılmaz, 2008).

Bu bölgedeki VLF işaretlerinin yayılımı elektron yoğunluğuna bağlıdır. F bölgesinde ise radyo dalgalarının yayılımı elektron yoğunluğuna bağlı olmasının yanı sıra elektron-nötr çarpışma frekanslarına da bağlıdır (Wait, 1964). Elektron yoğunluğunu etkileyen önemli faktörler; güneşin aktivite indisleri, jeomanyetik indisler ve iyonküresel indislerin oluşturduğu bir fonksiyondur.

Dünyanın herhangi bir noktasına ulaşan elektromanyetik dalganın genlik ve faz değerleri iyonkürenin elektriksel iletkenliğine bağlıdır. VLF işaretlerinin alt iyonküreden yansması alt iyonkürenin içerisinde yaşanan karışıklıkların tarifinde kullanılmasına dair yapılmış birçok çalışma ve oluşturulmuş çalışma grupları bulunmaktadır (Canyılmaz, 2008) (URL-15, 2011). Yapılan bu çalışmalar VLF Uzaktan Algılama (VLF Remote Sensing) olarak isimlendirilmektedir.

VLF teknikleri kullanılarak D bölgesindeki süreçleri tanımlamaya çalışılan birçok çalışma yapılmıştır. Bunlar; güneş patlamaları, meteor yağmurları, nükleer patlamalar, uzaysal gama ışın patlamaları, yerin radyasyon kuşaklarındaki yüksek enerjili elektronların orta enlemlerden iyonküreye gece girişi, Auroral bölgelerdeki enerjili elektronların

iyonküreye girişi, yıldırımların VLF yayılımına etkileri ve depremlerin tahminleridir (Bracewell ve Straker, 1949) (Inan vd., 1999).

3.2.2 E Bölgesi

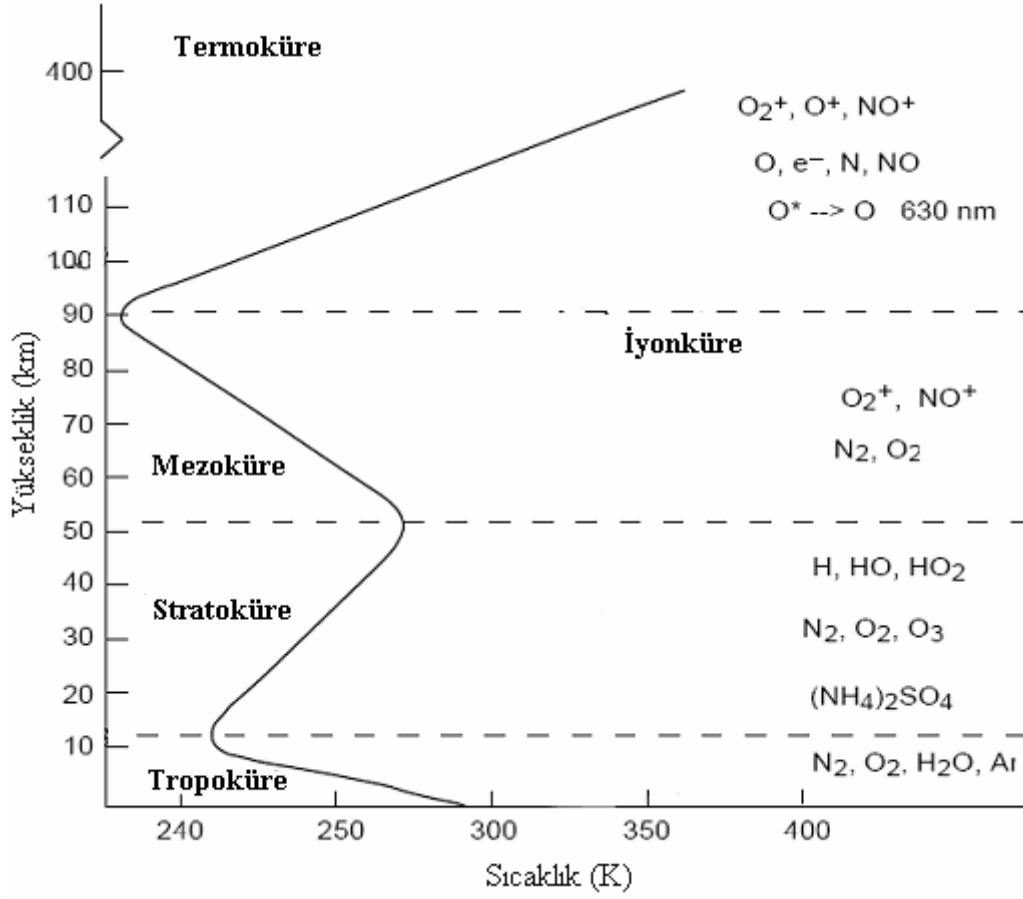
E bölgesi 90 ila 140 km arasını tanımlamaktadır. E bölgesindeki iyonlaşmanın sebebi zayıf X-ışınlarıdır. İyonlaşma sonucu elektron yoğunluğu artarak $\sim 10^5$ elektron cm^{-3} değerine kadar ulaşır. Bu yükseklikte UV ışınlarının tamamen soğurulması ile O_2 molekülerinin iyonlaşması sağlanmaktadır. E bölgesinde NO^+ ve O_2^+ iyonları O^+ ve N_2^+ iyonlarına göre fazla bulunduğundan fotokimyasal süreçlerle kaybedilen elektronların sayısı büyük olmaktadır (Cezibarak, 2005). Bu durum, gece elektron yoğunluğunun gündüze göre daha az olması sonucunu çıkarmaktadır. E bölgesi radyo haberleşmesi için önemli bir yere sahiptir (Samson, 1966) (Wuilleumier, 1970).

3.2.3 F Bölgesi

F bölgesi iyonkürenin 140 km üzerindeki bölgesini tanımlamaktadır. Elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu tabaka F tabakasıdır. Güneşten gelen mor ötesi ışınlar F tabakasında gerçekleşen iyonlaşmanın sebebini teşkil etmektedir. Elektron yoğunluğu F tabakasından sonra manyetoküre sınırlarına kadar normal bir şekilde azalmaktadır (Özcan vd., 2003). Üst sınır olarak H^+ ve He^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonuna göre daha yoğun olduğu yükseklik olarak kabul edilmektedir.

Bu bölge F1 ve F2 olmak üzere iki tabakaya ayrılmaktadır. F1 bölgesi 140 ile 210 km, F2 bölgesi 210 ile 450 km yüksekliğı arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Elektron yoğunluğu bakımından iyonkürenin en zengin ve kararlı bölgesi F2 bölgesidir.

İyonküre tabakaları aynı zamanda sıcaklık ve kimyasal yapılarına göre farklılıklar gösterir. Bu özelliklere göre dağılım Şekil 3-2’de gösterilmiştir (Cezibarak, 2005).



Şekil 3-2 İyonküre tabakalarının sıcaklık ve kimyasal yapıları

3.2.4 Elektron Yoğunluğu

İyonküredeki en önemli parametre elektron yoğunluğudur. Bu parametre sinyalin iyonküre yardımıyla iletiminde etkin rol oynar. Elektron yoğunluğunun değişimi iletilen sinyal üzerinde değişken kayıplarla karşı karşıya kalınması sonucunu doğurur. Aktarılan sinyal üzerinde görünen bu değişimler bazı karakteristik anlamlar içerir (Karatay, 2010). Bu karakteristik değişimlerin bazıları depremler hakkında bilgi barındırabilmektedir. Depremlerin oluşmasını tetikleyen sebeplerin bazıları aynı zamanda iyonküredeki elektron yoğunluklarının da değişimine sebep olmaktadır. Bu değişim radyo haberleşmesi için iletim ortamı olan iyonkürenin belirgin bozulmalara uğramasına sebep olabilmektedir.

Bu parametrede gözlenecek değişim birçok dış etkene bağlıdır. Mevsimler, günün saatleri, yerkürenin elektromanyetik alan değişimleri, güneşte meydana gelebilecek aktiviteler elektron yoğunluğunun dolayısıyla aktarılan sinyalin üzerinde gerçekleşecek bozulmaların kaynağını teşkil etmektedir.

İyonküredeki elektron yoğunluğunu doğrudan etkileyen ana unsur güneşin yaydığı ışımadır. Bu ışmanın miktarı iyonlaşmayı ve bu iyonlaşma sonucu ortaya çıkan elektron yoğunluğunu etkilemektedir.

Foto-iyonlaşma olarak adlandırılabilen bu reaksiyon denklem (3-2) ile ifade edilebilir.



İyonlaşma özellikle güneş ışınımının en etkili olduğu gündüz saatlerinde daha yüksek foto iyonlaşmaya sebep olduğu görülmektedir.

3.2.5 İyonküre Kritik Frekansı (f_0)

İyonkürede yayılan sinyalin geri yansıtılacak olan frekansının en üst değerini göstermektedir. İyonküre kritik frekansı plazma frekansı olarak da adlandırılmaktadır. Bu frekans üzerindeki sinyaller iyonküreden geçip diğer katmanlar üzerinden uzaya yayılır. Kritik frekans, (3-3) denklemi ile verilmiştir. Buradaki N_{max} maksimum elektron yoğunluğu değerini ifade etmektedir.

$$f_0 = 9\sqrt{N_{max}} \quad (3-3)$$

3.2.6 Elektron, İyon ve Nötr Sıcaklıkları

Sıcaklık, parçacık başına ısı kinetik enerjisiyi ifade eder. Birimi Kelvin (K)'dir. Sıcaklık plazmadaki iyonlaşmayı kontrol eder. Plazma tamamen iyonlaşmış ise “sıcak plazma”, gaz moleküllerinin az kısmı iyonlaşmış ise “soğuk plazma” olarak tanımlanır (URL-8, 2011).

İyonkürede gün doğumuyla birlikte nötr parçacıklar arasında foto-elektron üretimi başlar. Bu hareketlilik elektron sıcaklıklarını artırır. Gün doğumuyla birlikte çok elektron üretimi gerçekleştirildiğinden elektron başına düşen enerji miktarı da azalır.

Atmosferden aktarılan sinyallerde karakteristik olarak gün doğumu ve gün batımındaki belirgin değişimin kaynağı da bu değişen sıcaklıkla oluşan etkidir.

İyonkürede T_e elektron sıcaklığı, T_i iyon sıcaklığı ve N_e elektron yoğunluğu arasındaki ilişki denklem (3-4) 'de verilmiştir (Bailey vd., 1987).

$$T_e - T_i = A - BN_e \quad (3-4)$$

Üretim ve kayıp mekanizmalarının iletim ortamının davranışını etkilediği yapılan çeşitli araştırmalarda ortaya koyulmuştur (Bailey vd., 1987). Güneşten kaynaklanan değişimlerin hesaba katıldığı bir ifade elde edilmek istenirse, (3-5)'deki denklem elde edilir.

$$T_e - T_i = A - BN_e + CF_{10.7} \quad (3-5)$$

Buradaki $F_{10.7}$ değeri güneşin akısını ifade etmektedir.

3.2.7 İyonküre Toplam Elektron İçeriği (TEC)

İşaretin iletimini sağlayan, iyonkürede yayıldığı yol boyunca var olan elektronların toplam sayısı olarak Toplam Elektron İçeriği tanımı yapılır. Sinyallerin iletiminde gerçekleşen gecikmenin en önemli değişkenleri yayılım yolundaki Toplam Elektron İçeriği ve frekanstır.

Toplam Elektron İçeriği (TEC) hesaplanması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler yer tabanlı ve uydu tabanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İyonosonda, Geri Saçılımlı Radar, Evre Uyumsuz Geri Saçılımlı Radar olmak üzere üç yöntemi yer tabanlı teknikler arasında gösterilebilir. Toplam Elektron İçeriği hesaplamalarında kullanılan diğer yöntem uydu tabanlı sistemlerdir. Bunlar, Yerküresel Konumlama Sistemi (GPS), GLONASS ve TOPEX/Poseidon olarak belirtilebilir (Karatay, 2010).

Literatürde yapılan çalışmalar içerisinde depremlerden önceki evrelerde İyonküre ve yer elektromanyetik alanı ile ilgili etkileşimin olduğu tartışılmıştır. Bu ilişki modellendiği takdirde iyonkürede oluşan anomaliler çerçevesinde depremlerin önceden tahmin edilmesine olanak sağlanabilmesi konusunda çeşitli çalışmalar vardır. Yerkabuğunun altındaki akustik yerçekimi dalgalarının oluşturduğu yerkürenin elektromanyetik alan değişimi iyonküredeki elektron yoğunluğu üzerinde değişimlere sebep olmaktadır (Karatay, 2010). Bu değişimlerin analizi ile elde edilecek veri kümesi yerkabuğundaki sismik hareketlilikler hakkında anlamlı bilgi elde edilmesi söz konusu olabilir (Ondoh, 2000) (Plotkin, 2003) (Liu vd., 2004).

Toplam Elektron İçeriği sadece yerkabuğundaki hareketliliğe bağlı değişmemektedir. Aynı zamanda Toplam Elektron İçeriğini etkileyen önemli parametreler arasında güneşin aktivitesi sayılabilir. Güneşin aktivitesi iyonkürede yüklü parçacık yoğunluğu ve

elektromanyetik yayılımında büyük değişliklere neden olmaktadır. İyonküresel fırtınalar olarak bilinen ve İyonküre'yi etkileyen bu karışıklıklar, İyonküresel yoğunluk dağılımında, Toplam Elektron İçeriğinde ve İyonküresel akım sisteminde büyük karışıklıklara sebep olurlar (Karatay, 2010) (Shagimuratov vd., 2002).

3.2.8 Güneşin Aktivitesi ve Jeomanyetik İndisler

Çevresel etmenler ile iyonkürenin sinyal iletim karakteristiği arasında güçlü bir bağ bulunmaktadır. İyonküre, güneş aktiviteleri ile elektron yoğunluğu ve Toplam Elektron İçeriği üzerinde büyük karışıklıklara sebep olmaktadır. Güneşte meydana gelen patlamalarla dünyaya gelen yüklü parçacıklar, jeomanyetik fırtınalara sebep olmaktadır. Bu etkiler işaret iletim ortamı olan iyonkürede önemli anormallikler meydana getirir. İstenmeyen bu kontrolsüz anormallikler bazı indisler ile ifade edilir. Başlıcaları; K-indisi, a-indisi, A-indisi, Kp-indisi, Güneşin Akısı İndisi, Dst-indisi olarak sayılabilir. Bu indisler içerisinde iyonkürenin elektron yoğunluğu üzerinde en yüksek etkisi olan parametreler açıklanmaya çalışılacaktır.

3.3 Güneş indisleri

Güneş lekeleri periyodik olarak değişmektedir. Değişim periyodu için genel olarak 11 yıllık bir zaman dilimi belirtilmiştir. Ancak bu zaman periyodu 9-14 yıl arası bir süre içerisinde değişken olarak görülmektedir. Bu değişim, simetrik olarak devam etmemektedir. Güneş lekelerinin %10'u 11 günden daha uzun yaşamamaktadır. Tüm lekelerin yarısının ömrü 2 günden daha uzun değildir. Bu lekelerin artışı, büyük enerji ortaya çıkaran güneş patlamalarına bağlıdır. 1700'lü yıllardan bu yana güneşin lekelerinin gözlemlenmesi devam etmektedir. Bu yıllarda yapılan inceleme doğrudan gözlem üzerinedir. Ancak 1818 yılından sonra iyi derecede, 1848 yılından sonra ise güvenilecek derecede doğru sonuçlara ulaşılmıştır.

İyonkürenin E ve F tabakalarının kritik frekanslarının güneş lekelerinden tahmin edilebildiği söylenebilmektedir.

3.3.1 Güneş Lekeleri (R)

Güneş lekeleri, güneş üzerindeki büyük yanma ve patlamalar olarak ifade edilmektedir. Bu yanma ve patlamalar Güneş yüzeyinde lekeler olarak gözlenir. Güneş üzerindeki lekelerin sayısı ve büyüklüğü Güneş aktivitesini göstermektedir. Güneş lekeleri iyonlaşma üzerinde belirleyici bir etkidir. Lekelerden uzay boşluğuna ışınlar, tanecikler ve enerji savrulmaktadır. Bu enerji boşalımı atmosferdeki iyonlaşmayı ve elektron üretimini etkiler. İyonlaşan atmosfer sonucunda ortaya çıkan çok fazla serbest elektron, sinyal yansımalarına engel olacaktır (Turan, 2006).

3.4 Yerin Manyetik Alanına Ait İndisler (Jeomanyetik İndisler)

Yerin manyetik alanına ait dış kaynaklı geçici indislerin var olduğu bilinmektedir. Son yapılan çalışmalar ile jeomanyetik indislerin iyonkürenin davranışlarına olan etkilerini araştırmada kullanılmaya başlanmıştır. Manyetik tedirginlikler ile manyetoküreye ait olaylar arasındaki ilişkinin tanımlanmasına dair olan çalışmalar yapılmasına rağmen henüz net bir sebep tespit edilememiştir. Bu sorunun aşılması için jeomanyetik indislerin tanımlanması gerekmektedir.

3.4.1 K-İndisi

Bantles K indisini ortaya atmıştır. K indisi jeomanyetik alanın yatay bileşeni ile hesaplanmaktadır (Turan, 2006) (URL-16, 2011). K indisi günlük ve mevsimlik olarak değişim göstermektedir. Dünya üzerindeki çeşitli istasyonlardan gelen veriler ile yerkürenin manyetik alanı hesaplanır. Bu indis elektromanyetik alandaki 3 saatlik ortalamaı ifade eder. K-indisi ile elektromanyetik alanda oluşan bozulmalar ve düzensizlikler hakkında bilgi sahibi olunabilir (De Canck, 2007) (URL-7, 2011). Değişen elektromanyetik alanlar K indisini değiştirir. Tablo 3-1 ile elektromanyetik alan arasındaki ilişki verilmiştir (Karatay, 2010).

Tablo 3-1 K-indisleri

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
nT	0-5	5-10	10-20	20-40	40-70	70-120	120-200	200-330	330-500	>500

K-indisinin anlamlandırılma tablosu ise Tablo 3-2’de verilmiştir (Karatay, 2010).

Tablo 3-2 K-indisinin anlamlandırılması

K0	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Aktif değil	Çok sakin	Sakin	Tedirgin	Aktif	Küçük fırtına	Büyük fırtına	Şiddetli fırtına	Çok şiddetli fırtına	Uç, aşırı fırtına

3.4.2 Kp-indisi

Bazı araştırmacılar ise K indislerinin ortalaması ile oluşan Kp indisinin kullanılmasını önermiştir. Bu indis, dünyanın 13 farklı noktasından toplanan K-indisine bağlı olarak türetilen jeomanyetik işlekliği ifade eden bir değerdir. 1932 yılından beri Kp indisleri kaydedilmektedir (Turan, 2006) (Rodriguez, 1994) (URL-17, 2010). Ölçeklendirme 0 ile 9 arasında yapılmaktadır. Güneş parçacıklarının yayılımının etkilerini tanımlamak için kullanılmaktadır (URL-7, 2011) (Karatay, 2010).

3.4.3 a-indisi

a indisi, jeomanyetik işlekliğin 3 saatlik “eşdeğer genlik” indisidir (URL-7, 2011). a-İndisi ile K-İndis arasındaki ilişki Tablo 3-3’de verilmiştir (Turan, 2006) (Rodriguez, 1994).

Tablo 3-3 K indisi ile a indisi arasındaki ilişki

K:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a:	0	3	7	15	27	48	80	140	240	400

3.4.4 A-indisi

A-indisi, jeomanyetik işlekliğin günlük değişimlerini ifade eder (De Canck, 2007). a-İndisi’nin 3 saatlik ortalamasına eşit olan günlük jeomanyetik bir indistir. A-indisi’i, 0-100

ve üstü değerlerle ifade edilir (URL-7, 2011). Tablo 3-4’da A-indisi ifade edilmiştir (Karatay, 2010).

Tablo 3-4 A-indisi anlamlandırılması

A0-A7	A8-A15	A16-A29	A30-A49	A50-A99	>A100
Sakin	Tedirgin	Aktif	Küçük fırtına	Büyük fırtına	Şiddetli fırtına

Bu A-indisi ile ihtiyaç duyulan günlük jeomanyetik işleklik bilgisi türetilmiştir.

3.4.5 Dst İndeksi

Disturbance Storm Time (Dst), yerküreyi etkileyen manyetik fırtınaların seviyesini belirleyen bir jeomanyetik indistir. Yerkürede ekvatorial ve orta-enlem istasyonlarından edinilen jeomanyetik alanın yatay bileşenlerinin ortalamasıdır. Negatif Dst indisi değerleri manyetik bir fırtınayı ifade etmektedir. Bu Dst indisini negatif değerinin yüksek olması ise manyetik fırtına kuvvetini ifade etmektedir. Dst indisinde oluşan negatif sapmalar, yerkürenin etrafındaki ekvatorial düzlemde doğudan batıya doğru bir halka akımı oluşturmaktadır. Bu halka akımı ortaya bir elektrik akımı çıkarmaktadır. Güneşten gelen rüzgarlar bu akımın şiddetini değiştirmektedir. Güneş rüzgârları ve halka akımları arasındaki ilişki bilinirse, Dst indisi tahmin edilebilecektir. Dst indisleri Tablo 3-5’de verildiği gibi sınıflandırılmaktadır (Canyılmaz, 2008) (URL-18, 2010).

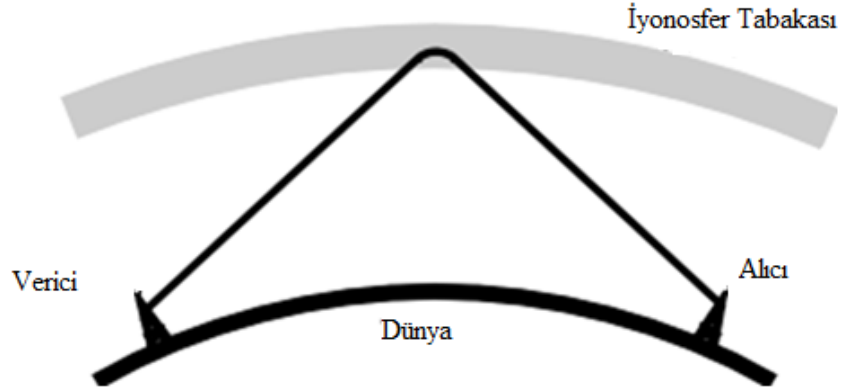
Tablo 3-5 Dst indeksinin sınıflandırılması

Düşük	Dst> -20 nT
Orta	-20 nT>Dst> -50 nT
Yüksek	-50 nT>Dst> -100 nT
Şiddetli	Dst< -100 nT

Dst indisleri birer saatlik zaman dilimlerinde ekvator yakınlarındaki istasyonlarda ölçülmektedir (Canyılmaz, 2008).

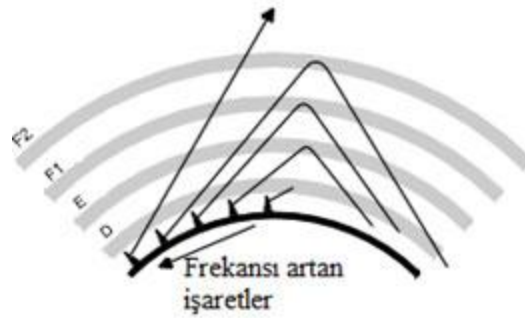
3.5 İyonkürede İletim

Plazma içerisinde etkin olan parçacıklar elektronlardır. Uygun frekansta yayılan bir sinyal iyonküreden yansımaktadır. Sinyalin yansıması ilkesine bağlı olarak yerküre üzerindeki herhangi bir iki nokta arasında iletişim sağlanabilmektedir. Şekil 3-3'de iyonkürede sinyalin yayılımı gösterilmektedir.



Şekil 3-3 İyonküre - alıcı - verici

İletişim alıcı ve verici arasında gerçekleşmektedir. İletilen elektromanyetik dalganın taşındığı iletim hattı iyonküre tabakasıdır. İyonküre tabakası üzerinden iletilen sinyal iyonküre katmanlarından yansıyarak alıcı sisteme ulaşmaktadır (URL-4, 2011). Bu yansıma, katmanların elektron yoğunluğu, yerkürenin elektromanyetik alan etkisi ve iletilen sinyalin frekansı ile doğrudan ilişkilidir (URL-6, 2011). Şekil 3-4'de verici tarafından gönderilen sinyalin iyonküre tabakasından yansıması veya tabakayı geçip uzaya ilerlemesini göstermektedir.



Şekil 3-4 Yansıma ve frekans ilişkisi

İyonküreden sinyalin yansıyabilmesi frekanslarına bağlıdır. Frekans arttıkça sinyalin yansıdığı iyonküre tabakası değişmektedir. Frekansı çok yüksek frekans (VHF) olan sinyaller ise iyonküre tabakasını aşırıp uzaya ilerlemektedir. Şekil 3-4’de bu yansıma olayını resmedilmektedir (URL-5, 2011).

İyonküredeki iyonlaşmanın elektromanyetik dalgaların iletilmesine olan etkisi açıklanması için iki durum ve bu durumlardaki davranıştan bahsedilmelidir. İlk durum, gündüz saatleri veya güneş lekelerinin fazla olduğu zaman dilimlerinde, elektron yoğunluğu yüksek olduğu için elektronlar kalın bir tabaka halindedir ve gelen elektromanyetik dalga yansıtılmamaktadır. İkinci durum ise elektron yoğunluğunun az olduğu durumdur. Elektron yoğunluğunun az olduğu durum genelde geceleri veya güneş lekelerinin az olduğu zaman dilimlerine tekabül etmektedir. Bu durumda elektronlar elektromanyetik dalganın yansımaya sebep olacak ince bir tabaka oluşturmaktadırlar (URL-6, 2011). Çok düşük frekanslı (VLF) elektromanyetik dalgaların iletimi iyonküreden yansıyarak yapılmaktadır (URL-4, 2011).

3.5.1 Plazma

Maddenin en çok bilinen katı sıvı ve gaz hali ile birlikte yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan 4. hali plazma halidir. Maddenin 4. Hali olan plazma yeryüzünde az karşılaşılan bir hal olmasına karşı, evrenin önemli bir kısmını kapsar. Evrendeki toplam madde miktarının %99 plazma halindedir. Dünyada plazma iyonkürede karşımıza çıkmaktadır. Alev, Aurora ve yıldırım gibi doğa olayları plazmanın çevremizde yapmış olduğu etkilere örnek teşkil etmektedir (URL-6, 2011).

3.5.2 Plazma Frekansı

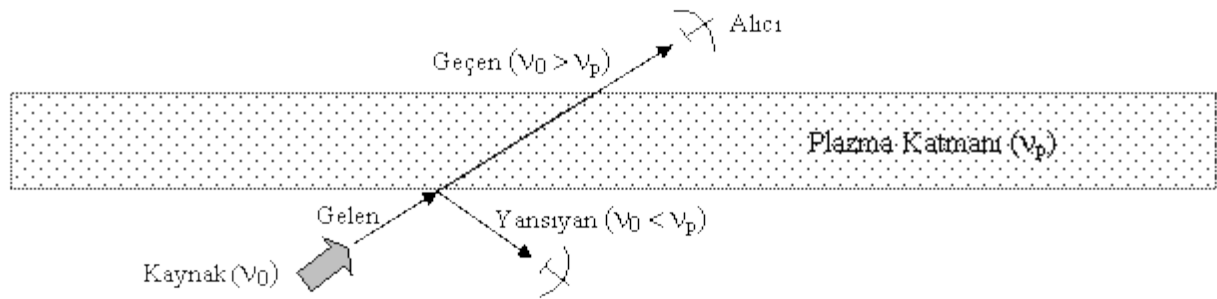
Plazma parçacıkları çok farklı dalga hareketlerini ve osilasyonlarını desteklemektedir. Eğer elektronlar denge pozisyonlarından az miktarda hareket ettirilirse osilasyon oluşur. Osilasyonun frekansına “Plazma Frekansı” denmektedir. Plazma frekansı denklem (3-6) ile gösterilmiştir.

$$w_p = \left(\frac{n e^2}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} \quad (3-6)$$

Burada n plazma kütlesini tarif etmektedir. m_e ise elektron kütlesini ifade eder (URL-6, 2011).

3.5.3 Elektromanyetik Dalganın Plazmada Yayılmı

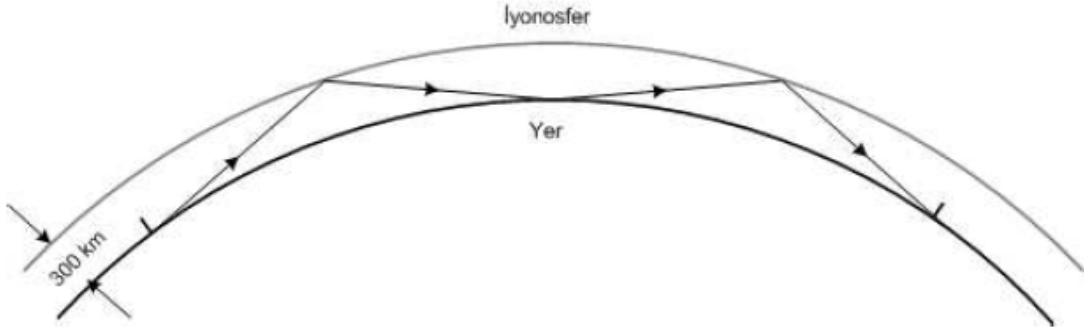
Elektromanyetik dalganın iyonküreden iletimini etkileyen en önemli parametre plazma frekansıdır (URL-6, 2011). Plazma frekansı deprem analizi yapılabilmesi için gerekli olan sinyal frekansının tespiti için önemlidir. Analiz için kullanılması gereken sinyal frekansı iyonküreden kolaylıkla yansıtılabilen bir frekans büyüklüğüne sahip olmalıdır.



Şekil 3-5 Kaynak işaretinin plazmadan yansıması

Yukarıdaki Şekil 3-5’de görüldüğü gibi, kaynaktan V_0 frekanslı bir elektromanyetik dalga gönderilmektedir. Plazma frekansı V_p olan bir plazma katmanı ile karşılaştığında V_0 frekansına bağlı olarak katmandan yansımakta veya katmanı aşarak geçmektedir. Plazma ortamı üzerinden gönderilen elektromanyetik sinyalin frekansı, plazma frekansından küçük ($V_0 < V_p$) ise gelen sinyal, plazma ortamı tarafından yansıtılmaktadır. Eğer gelen sinyalin frekansı, plazma katmanının frekansından büyük ($V_0 > V_p$) ise elektromanyetik sinyal plazma katmanı içinde yayılabilir ve plazma ortamından geçebilmektedir (Akan, 2005).

Şekil 3-6’ de vericiden çıkan sinyal alıcıya ulaşana kadar ihtiyaç halinde yerküreden yansıyarak tekrar iyonküreye yönlendirilmektedir. Buradan sonra ise tekrar iyonküreden yerküreye yansımaktadır. Bu döngü sinyal alıcıya ulaşana kadar devam etmektedir (Uğurlu, 2007). Bu durumda vericilerin konumları ve yansıma açıları önemi daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3-6 Sinyallerin yansıması

Havanın dünyanın manyetik alan çizgileri arasından $\vec{V}$ hızı ile hareket etmesini sağlayan bazı etmenler bulunmaktadır. Yer ve ay çekimi, sıcaklık değişimleri, yerin elektromanyetik alan değişimleri gibi etmenler bunlar arasında sayılabilmektedir. Atmosferde gerçekleşen bu hareketlilik sonucunda $\vec{V} \times \vec{B}$ gibi bir elektrik alanının oluşması durumu ortaya çıkmaktadır. Oluşan elektrik alan ile elektron ve iyonları manyetik alana dik olarak denklem (3-7)'de belirtilen hız ile hareket etmesi sağlanmaktadır (Cezibarak, 2005).

$$\frac{\vec{V} \times \vec{B}}{B^2} \quad (3-7)$$

Bu hızın düşey bileşeni ise denklem (3-8)'de verilmiştir.

$$W_E = \frac{E_y}{B} \cos I \quad (3-8)$$

Bu etkenlerden dolayı oluşacak değişim, iyonküredeki iyon ve serbest elektron yoğunluğu farklılaştıracak, atmosferden aktarılan sinyalin iletim karakteristiğini değiştirecektir. Alıcıdan elde edilen sinyal çeşitli etkenlerden değişime uğrayan ortamın karakteristiği hakkında bilgi barındırmaktadır (Cezibarak, 2005) (Aydoğdu, 1980).

Dünyanın manyetik alanının değişiminin depremler ile ilişkili olması ise bu karakteristiklerin deprem habercisi olma olasılıklarını artırmaktadır (Hayakawa, 1999).

4 DEPREMLERİN OLASI ÖNCÜ HABERCİLERİ VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Depremler, tüm insanlık tarihi boyunca canlıların hayatlarını değiştiren önemli bir gerçek olmuştur. Sahip olduğu bu önem, insanların, üzerinde yapmış oldukları araştırmaların sayısını artırmıştır. Yapılan genel araştırmalar depremlerin etkisi ve jeolojik oluşumu üzerine olduğu gibi öncü haberci konuları üzerinde de yoğunlaşmaya başlanmıştır (Molchanov vd., 1998) (Pierce, 1976) (Muto vd., 2009). Depremin tahmin olasılığı, öncü habercilerin varoluşunun varsayımı üzerine kuruludur. Eski zamanlardan beri, birçok deprem habercisi önerilmiştir. Ancak henüz tam olarak ispatlanmış ve güvenilirliğe sahip öncü haberci ortaya koyulamamıştır (Molchanov vd., 1998) (Hayakawa ve Molchanov, 2000) (Horie vd., 2006). İyonküre değişimleri ile depremler arasında bir ilişkinin varlığı konusunda yapılan araştırmalar örnek haberci tespit çalışma alanı olarak gösterilebilmektedir (Karatay, 2010) (Molchanov vd., 1998) (URL-9, 2011) (Saç ve Camgöz, 2005). Yapılan iyonküre ve VLF sinyalleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaya yönelik çalışmaların tamamında, öncü haberci olarak ifade edilen yöntemler ile değişik VLF ağlarından alınmış veri kümelerinin, istatistiksel analizleri ve sinyal işleme teknikleri uygulandığı görülmektedir.

Depremler ile ilişkili iyonküre tedirginliklerinin varlıklarına dair güvenilirliği artırmak için iki yönde araştırmalar ilerlemektedir. Bunlardan birincisi büyük depremler için iyonkürede sebep oldukları karakteristik değişimleri üzerine yapılan çalışmalardır (Molchanov vd., 1998) (Shvets vd., 2004) (Yamauchi vd., 2007). İkinci analiz yöntemi ise depremler ile alt iyonkürede gerçekleşen tedirginliklerin bilgisini taşıyan VLF/LF sinyalleri arasındaki bağıntıyı istatistiksel yöntemler ile analiz etmektir (Gokhberg vd., 1989) (Hayakawa, 2008). Alt iyonkürenin depremlerden kaynaklanan bozulmalarla karşı karşıya kalabilmesi için depremlerin yüzey depremleri olması gerekmektedir. Ayrıca depremlerin iyonküreye etkileri ancak 6 ve üzeri büyüklüklerde olması gerekmektedir (Muto vd., 2009).

Araştırmalarda genel olarak alıcı ve vericilerden oluşan bir ortam bulunmaktadır. Bu vericinin göndermiş olduğu elektromanyetik dalga, iyonkürenin yansıtma özelliğinden faydalanılarak alıcı tarafında elde edilmektedir. Burada görülmektedir ki aktarılan elektromanyetik dalga iletim ortamı olan atmosfer ve yansıtma yüzeyi olan iyonküreye bağlı olarak kayıplara uğramaktadır (Yamauchi vd., 2007) (Hayakawa, 1999). Bu kayıplar aslında bilgi içeren anlamlı verilerdir. Kayıplar, ortamda bulunan etkenlerin tesiri ile oluşmaktadır. Bu etkenlerin ortaya çıkarılması, taşınan verinin anlamlandırılmasını sağlayacaktır. Elektromanyetik dalgaların uğradığı karakteristik değişiklikler atmosferde, dolayısıyla yerkürede meydana gelen ve iyonküreyi etkileyen değişimleri bilgi olarak barındırmaktadır (Muto vd., 2009).

Yapılan çalışmalarda vericiden gönderilen VLF işaretinin, alıcı tarafında elde edilmiş genlik ve faz değerleri incelenmektedir. Verici frekansı ve uzaklığı sabit olduğu süre içerisinde elektromanyetik VLF işareti üzerindeki değişimler iyonkürenin D katmanının elektrik yoğunluğu ve yansıma yüksekliğine bağlıdır (Hayakawa vd., 2006). Analiz yöntemi için VLF işaretlerinin kullanılması, yansıma yüksekliği nedeniyle vazgeçilmezdir (Molchanov vd., 1998) (Gokhberg vd., 1989). Elektromanyetik dalga olarak VLF işaretlerinin kullanılmasının sebebi, yüksek frekanslı bir dalga tercih edildiği takdirde, elektromanyetik dalganın iyonküreden yansımaya uğramadan diğer katmanlara veya uzaya yayılmasıdır.

Rus ve Japon akademisyenlerin yapmış olduğu çalışmalarda ise depremlerin alt iyonküredeki yayılım ile ilişkili olduğunu ispat eden birçok ipucu bulmuşlardır (Molchanov vd., 1998) (Muto vd., 2009) (Shvets vd., 2004).

Çeşitli deprem haberci yöntemleri içerisinde bu çalışmada, VLF işaretlerinin üzerindeki etkileri konu edilmiştir. Elektromanyetik dalgaların yayılım ortamı iyonküredir. İlk yapılan çalışmalardan bugüne amaç, tam bir iyonküre modeli üzerinde çalışma yapmaktır. Ancak henüz iyonküre modelinin ortaya koyulduğu söylenemez. Depremlerin öncü haberci tespitine yönelik olarak iyonkürenin tam anlamıyla modellenememesinden dolayı istatistiksel yöntemler önerilmiş ve üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde yapılmış olan deprem öncü haberci yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

4.2 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 kırılmalara sebep olmasıyla depremleri meydana getirmektedir. Bu durum kayaçların gerginliklerinin takip edilebilmesi ile depremlerinin olası öncü habercileri olan işaretlerin gözlemlenebilmesi sonucunu doğurmaktadır (URL-9, 2011) (URL-11, 2011).

Fay kırıklarından veya çatlaklarından beklenmedik aşırı radon gazı salınımlarının takip edilmesi, olası deprem öncü habercisi olarak belirtilebilmektedir (Saç ve Camgöz, 2005) (Zmazek vd., 2002). Radon gazlarının depremlerden önceki zaman dilimlerinde aşırı salınımı ve dünyanın değişen manyetik alanı diğer bir olası öncü haberci tespit yöntem grubunu ortaya koymaktadır (Liu vd., 2004) (Hayakawa ve Molchanov, 2000) (Yamauchi vd., 2007) (Molchanov vd., 1998) (Karatay, 2010).

Depremlerin oluşumunu tetikleyen magma hareketleri ve yerküre katmanlarının hareketi dünyanın manyetik alanın değişimine sebep olmaktadır (Sato vd., 2009). Bu manyetik alan değişimi iyonküre yüksekliğini etkileyecektir (Yamauchi vd., 2007). İyonküre yüksekliği VLF işaretinin yansıma yüksekliğini belirleyecek ve üzerindeki beklenmedik değişimler dış etkenler ile ilişkilendirilebilecektir. Dünyanın manyetik alanının değişimi aynı zamanda iyonküre iyonizasyonunu da etkileyecektir.

Elektromanyetik işaretin yayılım ortamı iyonküredir. İyonkürenin elektron yoğunluğu ve iyonizasyonu, işaret üzerindeki kayıplar ile doğrudan ilişkilidir. Elektron yoğunluğunun değişimi ve İyonküre iyonizasyonu depremler ile etkileşimde olduğu ve radon gazlarının iyonize etkisinin yüksek bir şekilde hissedildiği yapılmış incelemelerde sabittir (Zmazek vd., 2002) (Karatay, 2010) (Muto vd., 2009)

4.3 Tahmin İçin Önerilen Yöntemler

Depremlerin oluşumuna etki eden tüm etmenler göz önünde bulundurularak farklı metotlar önerilmiştir. Bunların üzerine yapılmış onlarca çalışma bulunmaktadır. Üzerinde durulacak asıl konu iyonküre-deprem ilişkisidir. Elektromanyetik VLF dalgalarının iyonküreden iletimi ile olası deprem bilgilerinin, dalgalara kayıplarla yüklenmesi teorisi,

çeşitli yöntemler ile araştırmalarda irdelenmeye çalışılmıştır. Bu kısımda depremlerin öncü habercileri olarak kullanılan metotlar hakkında kısa bilgi verilecektir.

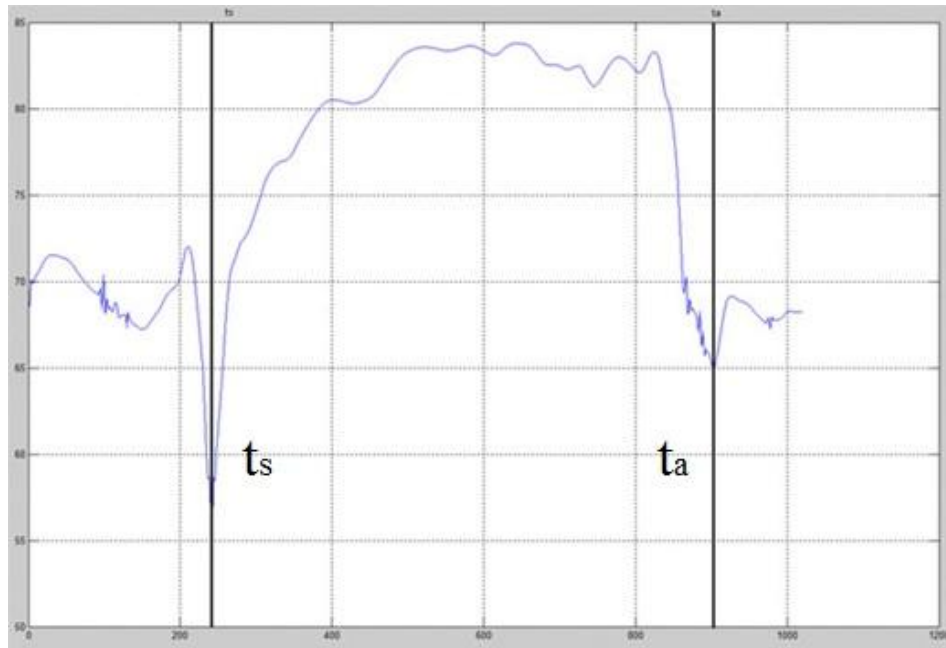
4.3.1 Depremlerin VLF – İyonküre İlişkisi Metodu

4.3.1.1 Kesim Zamanı

Yapılan araştırmalarda, iyonküre üzerinde iletilen VLF işaretlerin depremlerden önceki zaman dilimlerinde bazı karakteristik belirtilere sahip bilgi taşıdığı görülmüştür (Molchanov vd., 1998). Bu belirtiler depremden önceki birkaç gün içerisinde başlamakta ve sonraki birkaç gün içerisinde salınımına girmektedir.

Gün içerisinde iki kesim zamanı bulunmaktadır. Bunlar gün doğumu kesim zamanı (t_s) ve gün batımı kesim (t_a) zamanıdır. Bu zaman dilimleri yaklaşık 6 dakikalık bir doğruluk ile elektromanyetik dalga üzerinde taşınmaktadır. Kesim zamanları vericiden aktarılan genliği sabit dalganın, alıcı tarafında elde edilen hali üzerinde tespit edilir.

Alıcıdaki elektromanyetik dalganın genlik olarak ilk en düşük seviyeye indiği zaman gün doğumu kesim zamanını tanımlar. İkinci en düşük seviyeye indiği zaman ise günbatımı kesim zamanıdır (Molchanov vd., 1998). Şekil 4-1’de gün doğumu ve gün batımı genlik zamanları ile ilgili bir grafik bulunmaktadır.



Şekil 4-1 Elektromanyetik dalga üzerindeki kesim zamanı tespiti

Gerçekleşmiş olan depremin merkez üssünün Fresnel alanı içerisinde olması, sismolojik hareketlilikten kaynaklanan alt iyonküre karışıklıklarının etkileri daha detaylı olarak yansıyacaktır (Molchanov vd., 1998).

Faz ve genlik değerleri üzerinden elektromanyetik dalga karakteristiği çıkarma yönteminde ise kesim zamanları üzerinden bir anlamlandırma yapmak her zaman daha kolaydır. Ayrıca daha net anormalliklerle karşılaşma olasılığı yüksektir (Molchanov vd., 1998).

Yapılan çeşitli çalışmalarda görülmüştür ki kesim zamanı verileri kullanılarak yapılmış olan bir incelemede elde edilen sonucun güvenilirliği diğer metotlardan daha yüksek sonuçlar vermektedir. Faz ve genlikler üzerinden yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar kesim zamanı metodundan daha zor ve doğruluğu daha düşüktür (Molchanov vd., 1998) (Hayakawa ve Molchanov, 2000) (Muto vd., 2009).

4.3.1.2 2σ TESTİ

İstatiksel veri dağılımı uygulaması kolay bir hesaplama yöntemi olmakla beraber elektromanyetik dalga üzerindeki deprem bilgisinin belirginleştirilmesi açısından da başarılı çalışmalara konu olmuştur. Veri kümesi olarak seçilen elektromanyetik dalga üzerinden işlem yapılmaktadır. İşlemlerde kullanılacak veriler VLF işaretlerinin faz ve genlikleri olabilmektedir. Faz veya genlik değerlerinin ortalama değere olan farklarının belirli bir seviyenin üzerine çıkması, öncü haberci olarak kabul edilmektedir. Ayrıca kesim zamanı değişimleri veya gece sürelerinin dalgalanmalarının da ortalama değerlerine göre 2σ testlerinden geçirildiği yapılan çeşitli çalışmalarda görülmüştür (Hayakawa ve Molchanov, 2000) (Muto vd., 2009) (Yamauchi vd., 2007) (Molchanov vd., 1998)

Şekil 4-1'deki (t_s) ve (t_a) değerlerinin herhangi biri veri kümesi olarak belirlenecektir. Veri kümesi boyunca ortalama değerler hesaplanacaktır. Ortalama değer ile anlık farklara bağlı bir değer elde edilecektir.

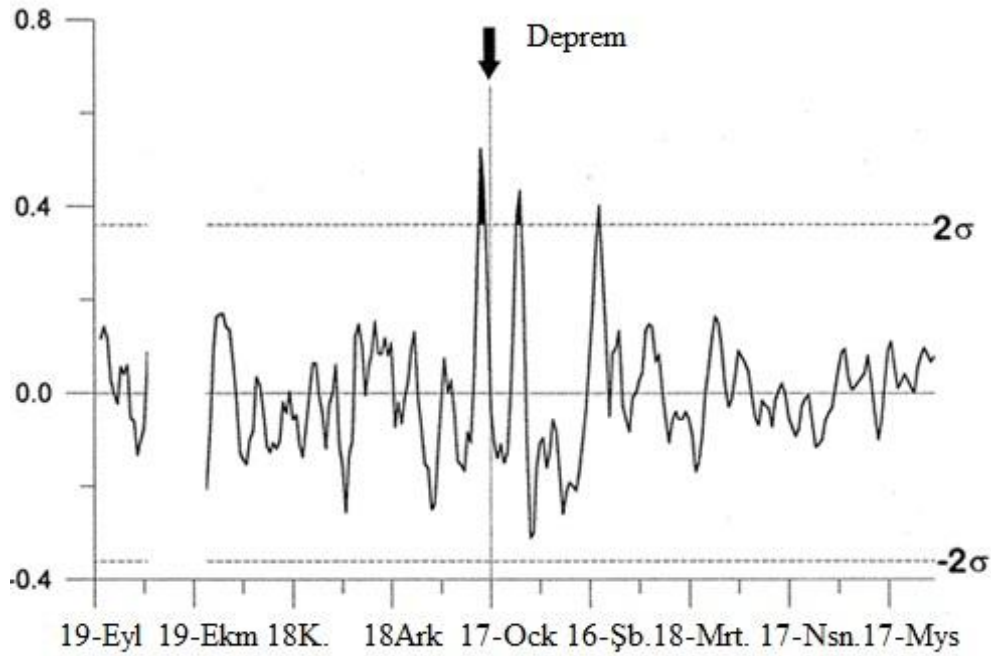
$$dt_a = t_a - t_{a-1} \quad (4-1)$$

Denklem (4-1)'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 (Yamauchi vd., 2007).

$$\sigma = \sqrt{(t_a - t_{a-1})^2} \quad (4-2)$$

Denklem (4-2)' den elde edilen veriler ile çizilen grafiğin 2σ seviyesinden aşan değerlere sahip olan günler için anormalliklerin gerçekleştiği yaklaşımda bulunulacaktır. Şekil 4-2'deki grafik, 17 Ocak Kobe depreminde elde edilen veriler ile hazırlanmıştır. (Molchanov vd., 1998).



Şekil 4-2 Deprem tahmininde 2σ testi (Molchanov vd., 1998)

Şekil 4-2'de görüldüğü gibi dalgaların genlikleri veya fazları için elde edilmiş olan değerlerin tüm periyodunun ortalaması için, ve 2σ seviyesi çizdirilmiştir. Kesim zamanı farklılıkları grafiksel olarak çizilerek, 2σ seviyesinin aşılp aşılmadığı test edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda kesim zamanı ve ortalama kesim zamanı farkı deprem den birkaç gün önce 2σ seviyesini aştığı ortaya koyulmuştur (Molchanov vd., 1998) (Yamauchi vd., 2007) (Horie vd., 2006) (Hayakawa vd., 2006). Ayrıca araştırmalar salınım periyodu yaklaşık olarak 10 günü olduğunu da göstermektedir.

4.3.1.3 Literatürde Yayınlanmış Çalışmalar

Malchonov vd. (1998) yapmış olduğu çalışmada, depremlerin gerçekleşmeden önceki zaman dilimlerinde bazı haberci olabilecek değişimlerin var olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada Japonya Kobe yakınlarında 17 Ocak 1996 'da 7.2 büyüklüğünde gerçekleşen depremde elde edilen veriler kullanılmıştır (Molchanov vd., 1998). Gerçekleşen depremler sırasında kaydedilmiş olan VLF sinyallerinin üzerinde kesim zamanı metodu ile veri işleme teknikleri kullanılarak yapılmış bir çalışmadır (Molchanov vd., 1998). Sinyallerin yayılım yolları üzerinde gerçekleşen bu deprem aynı zamanda etkilerin en iyi şekilde barındırıldığı Fresnel Alanının içerisinde yer almaktadır. Depremin gerçekleştiği bölge ve elektromanyetik dalga ağı Şekil 4-3'de gösterilmiştir. Fresnel alanı VLF alıcı ve vericilerinin odakları için eliptik bir alandır (Molchanov vd., 1998).



Şekil 4-3 Alıcı, Verici istasyonları, Fresnel alanı ve depremin olduğu bölge

Kobe depremi merkez üssü Şekil 4-3'de çarpı ile gösterilmiştir. Merkez üssü VLF işaret yayılım ağının 70 km uzağında yer almaktadır. Fresnel alanı içerisinde yer alması sismolojik karışıklıkların alt iyonküre VLF sinyal yayılımına etkisini artıracaktır. Daha önce de belirtilen, kesim zamanları üzerine yapılan istatistiksel bir çalışmanın daha

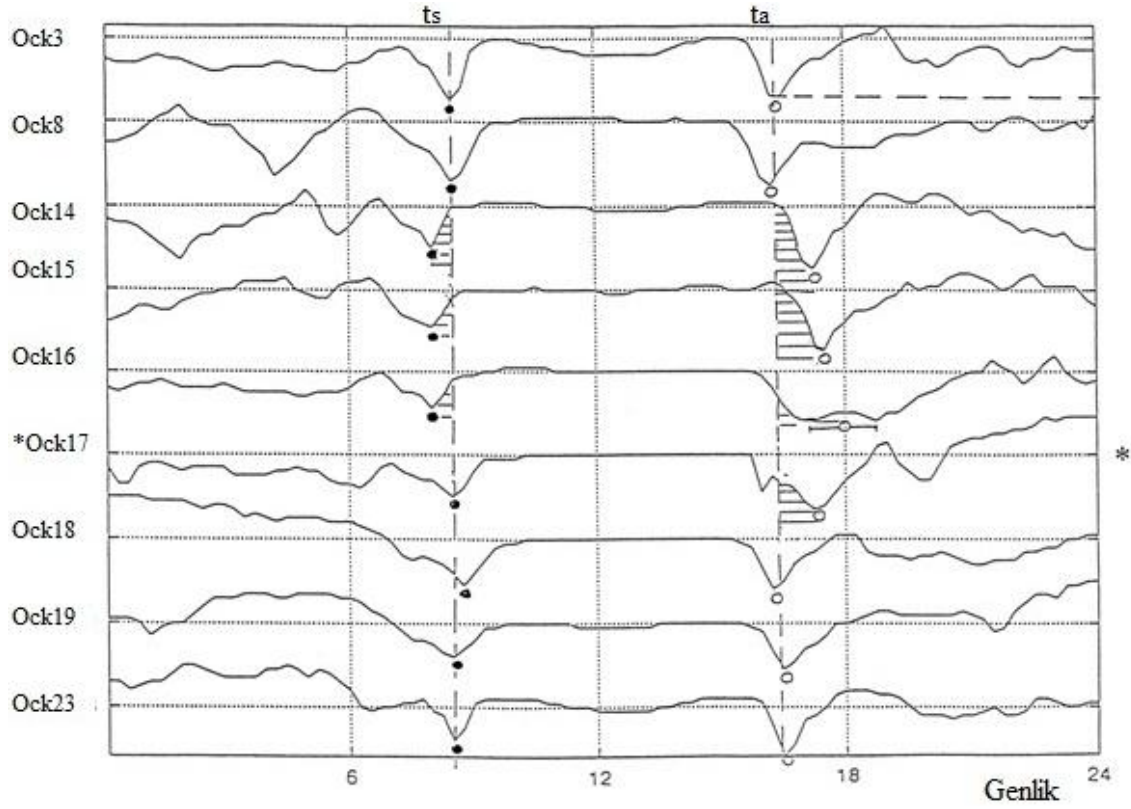
güvenilir sonuçlar ürettiği bilgisi yapılan araştırmada da ortaya koyulmuştur (Molchanov vd., 1998).

İncelemeler sonunda, VLF sinyallerinin üzerinde, depremden birkaç gün önce başlayan ve birkaç gün sonrasına kadar devam eden karakteristik belirtiler gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile karakteristik değişim periyodunun yaklaşık 10 gün olduğu bilgisine paralel sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleşen iyonosferik değişimlerin, depremlerden önce salınan radon gazlarının iyonize etkisinden, elektrik alanının değişmesinden, yeryüzü dalgalarının yoğunlaşmasından, jeomanyetik hareketlilikten veya sismik hareketliliklerin karışıklıklara sebep olmasından kaynaklanma olasılığı yüksektir. Yapılan çalışmalarda yer dünya dalga kılavuzunda yayılan yatay VLF vericilerinden gelen radyo sinyallerinin faz ve genlik değerleri gözlemlenmiştir (Molchanov vd., 1998). Verici frekansı ve uzaklığı sabit ise elektromanyetik VLF dalgaları, yansıma yüksekliği h ve iyonkürenin D katmanının elektron yoğunluğuna bağlı bulunmaktadır. Çalışmada Inubo'da kaydedilen ve Omega'dan gönderilen veriler göz önünde bulundurulmuştur. Faz genliklerinin üzerinden yapılan bir inceleme yerine kesim zamanları üzerinde yapılan inceleme, daha fazla güvenilir istatistiksel sonuçlar verdiği görülmüştür (Molchanov vd., 1998).

Şekil 4-4'de verilen grafik üzerinde faz genlikleri depremin önceki ve sonraki günleri için çizilmiştir. Kesim zamanları fazın en düşük seviyeye inmiş olduğu anları gösterir. Gün doğumu ve batımı için incelendiğinde deprem olmadan birkaç gün öncesinde işaretlerin en düşük seviyeye indikleri kesim zamanlarında, kaymaların gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4-4'de görülebileceği gibi deprem oluşumundan önceki üç gün boyunca gündeğümü ve gün batımı zamanını tarif eden kesim zamanları kaymaktadır (Molchanov vd., 1998).

Buradaki (t_s) ve (t_a) değerlerinin (4-1) ve (4-2) deki denklem ile istatistiksel olarak yapılan incelenmesinde, (t_a) değerinin kesim zamanı kayması daha açık bir şekilde gözlemlenmiştir (Molchanov vd., 1998).

Denklem (4-2)'den elde edilen veriler ile çizilen grafiğin 2σ seviyesini aşan değerlere sahip olan günler için anormalliklerin gerçekleştiği yaklaşımda bulunulacaktır. Yapılan çalışmada kesim zamanı depremden yaklaşık 2 gün önce 2σ seviyesini aşmıştır (Molchanov vd., 1998).

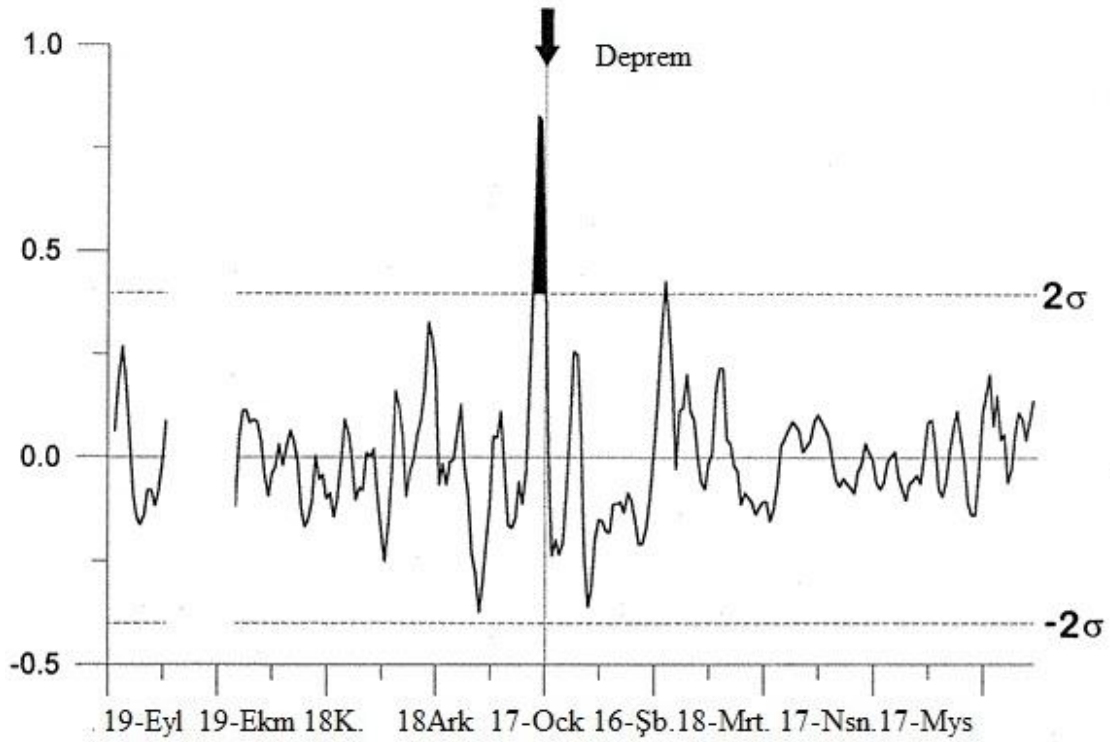


Şekil 4-4 Faz verisinin üzerinden kesim zamanı tespiti

Elde edilen değerlerin sergilendiği Şekil 4-4’de görüldüğü gibi günbatımı kesim zamanı, gün doğumu kesim zamanından daha belirgin karakteristikler sergilemektedir. Gün batımı kesim zamanı ile elde edilen Şekil 4-5’deki grafik, deprem öncesinde gözle görülür bir anormallik ortaya koymuştur (Molchanov vd., 1998).

Şekil 4-5’deki grafik, 17 Ocak Kobe depreminde elde edilen veriler ile hazırlanmıştır (Molchanov vd., 1998).

Şekil 4-2 ve Şekil 4-5 karşılaştırıldığında gün doğumu ve gün batımı kesim zamanları arasındaki etki farkı da görülmektedir. Şekil 4-2 gün batımı kesim zamanı verileri ile hazırlanmış olan bir grafik. Şekil 4-5 ise gün doğumu kesim zamanı verileri ile hazırlanmış bir grafik. Yapılan incelemeler gün batımı kesim zamanı kaymaları üzerinde depremlerin daha belirgin etkiler oluşturduğu görülmektedir (Molchanov vd., 1998).



Şekil 4-5 Kesim zamanlarının 2σ seviyesine göre grafiği (Molchanov vd., 1998)

Yapılan bir diğer çalışmada elektromanyetik dalgalar ve depremlerin etkisi ilişkisinin belirgin karakteristiklere sahip olduğuna dair kanıtların arttığı görülmüştür. Alt iyonkürede oluşan karışıklıkların, VLF elektromanyetik dalgası yayılımı vasıtasıyla algılanması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada önerilen metodun, tümleşik sistemin doğasından gelen hesaplama avantajları vardır. Çünkü alıcı ve verici arasındaki geniş dairede gerçekleşmiş herhangi bir deprem VLF yayılımının karakteristiğini değiştirecek tesire sahip olmaktadır. VLF verilerinin tam olarak kullanılmasıyla sismik-iyonküre karışıklıklar hakkında yapılan araştırmalar iki yönde devam etmektedir. Bunlardan bir tanesi iyonosferik karışıklıklar ve sismik aktiviteler arasındaki korelasyon üzerine yapılan çalışmalardır. Bir diğer çalışma kolu sismo-iyonik karışıklıkların büyük depremlerle olan ilişkisidir. Her iki yöntemin karışımı ile ortaya depremler ve elektromanyetik dalgaların iletimi ilişkisinin karakteristiği, yapısal özellikleri, oluşum mekanizmaları ve dinamikleri hakkında daha açık bir bilgi birikimi ortaya koyulacaktır (Yamauchi vd., 2007) (Hayakawa vd., 2006) (Horie vd., 2006).

Mid-Niigata da 23 Ekim saat 17:56 'da 6.8 şiddetinde ve yerin 10 km altında meydana gelen deprem üzerinde yapılan çalışmada, Japon VLF ağı ve VLF ağından elde edilen verilerin analizi yapılmıştır. Sismo-iyonosferik karışıklığı tanımlamak için iki farklı analiz

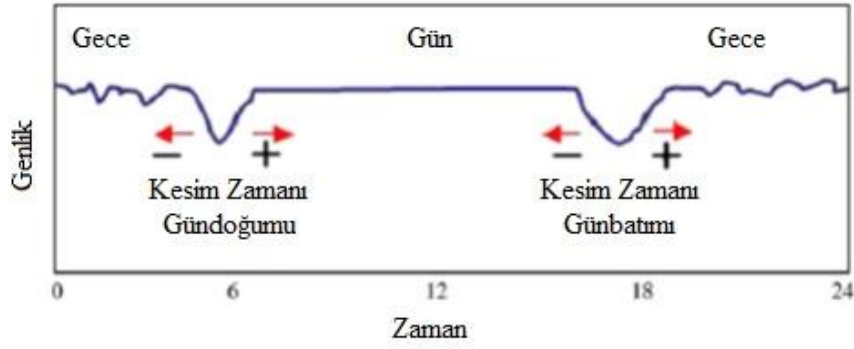
metodu önerilmiştir. İlk metot Kesim Zamanı (Gündönümü) metodudur. Bu metot gün doğumu ve gün batımı zamanlarının günlük VLF sinyalinin en düşük seviyeye geldiği zamanında ki genlik veya faz değişimlerini ölçümlemeye dayanmaktadır. Hayakawa ve Molchonov (2000) yaptıkları araştırmalarda, kesim zamanlarındaki bu değişim göstermiştir ki anormal kesim zamanı kaymaları olası deprem ilişkisini sergilemektedir. İkinci metot ise gece zamanında iyonkürenin yükselip alçalmasının analizi olarak karşımıza çıkmaktadır (Yamauchi vd., 2007). Litosfer – İyonküre kuplajında atmosferik yer dalgası (AGW) rolünün önemi hipotezi ile ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda dile getirilmiştir (Molchanov, 2001) (Yamauchi vd., 2007).

VLF Kesim Zamanı Analiz Sonuçları; İncelenen deprem için Japonya VLF ağında bulunan Moshiri (MSR), Chofu (CHO), Chiba (CBA), ve Kocki (KOC) kayıt istasyonları, Ebino (JJI) verisinden gelen verileri kaydetmektedir. Analiz metodu olarak kesim zamanı kullanılmıştır. Kobe depremi üzerine yapılan çalışmada (Hayakawa VD., 1996) açıkça görüldüğü gibi gün batımı kesim zamanı sabah gün doğumu kesim zamanından daha belirgindir. Bu nedenle gün batımı kesim zamanı, üzerinde durulmuştur. Bu durumdaki vericilerden gelen veriler MSR, CHO, CBA ve KOC tarafından gün kesim zamanları bakımından analiz edilmektedir (Yamauchi vd., 2007).

Tablo 4-1’de anormal günlerin zaman kaymaları ile ilgili sonuçlar bulunmaktadır. VLF işaretindeki anormallikler depremden 6-7 gün önce ortaya çıkmaktadır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarla da sabittir (Hayakawa vd., 2006). JJY-MSR’nin 7 dakika kayması gün zamanının kasılmasını ifade eder. Aynı durum JJY-KOC verisinde de görülmektedir. Bununla birlikte JJI’nın durumu CBA da 30 dakikalık bir kaymayı göstermektedir. Bu eksilme gün batımı kesim zamanının uzaması ve daha uzun bir gün süresini işaret etmektedir (Yamauchi vd., 2007).

Tablo 4-1 Kesim Zamanındaki gözlemlenmiş kaymalar

Verici	Alıcı	Kesim Zamanı	Anormallik	Kayma(Dk.)
JJY	MSR	Gün doğumu	7 gün önce	+7
	KOC	Gün doğumu	5 gün önce	+6
JJI	CHO	Gün batımı	6 gün önce	-20
	CBA	Gün batımı	7 gün önce	+30



Şekil 4-6 Gün doğumu ve gün batımı kesim zamanları (Yamauchi vd., 2007)

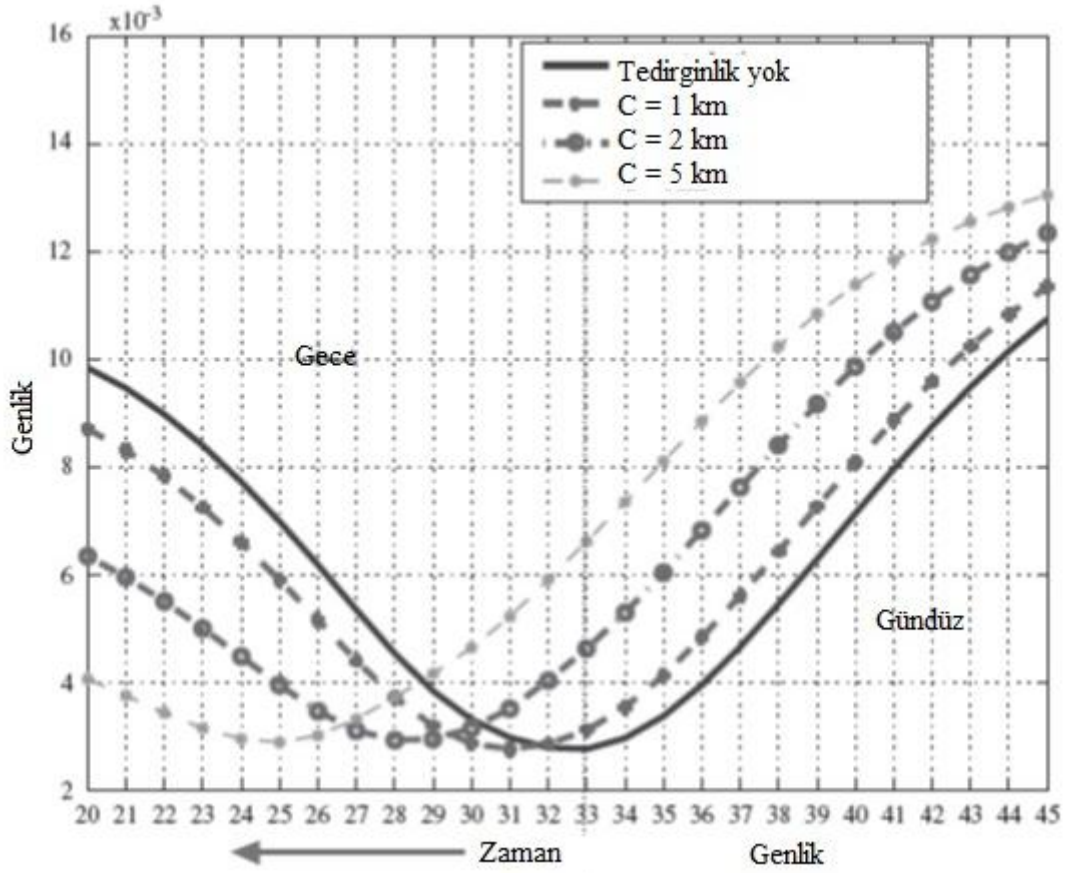
Kesim zamanları gün içerisinde işaret genliklerinin en düşük seviyeye indiği zamanı tanımlar. Şekil 4-6’de kesim zamanları gösterilmeye çalışılmıştır. Bu zaman dilimlerinde gün batımı ve gün doğumu gerçekleşmektedir. Sinyalin ilk indiği en düşük seviye zamanı gün doğumu anıdır. İkinci en düşük seviye ise gün batımında gerçekleşir. Deprem öncü habercisi olarak kullanılan bu sinyal genlik karakteristiğinin de, depremden birkaç gün öncesinden başlayarak kesim zamanlarında kaymaların gerçekleştiği görülmektedir. Bu kayma zamanının ilerisine veya gerisine doğru olabilir. Zaman kaymalarının gerçekleşmesinin birkaç nedeni olabilir. Bu nedenlerden tezin konusunu ilgilendireni depremlerin meydana getirdiği kaymalardır. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki (Molchanov vd., 1998) (Yamauchi vd., 2007), depremler gerçekleşmeden önceki birkaç gün boyunca kesim zamanlarında kaymalar gerçekleşmiştir. Kesim zamanlarını tanımlayan (t_s) ve (t_a) anları her gün için yaklaşık 6 dakikalık bir doğrulukta işaret üzerinden görülebilmektedir (Molchanov vd., 1998).

İyonküre Yükselmesi; İyonkürenin hareketliği VLF sinyal iletiminin karakteristik değişimlerinin sebeplerindendir. İyonküre gece ve gündüz zamanlarına bağlı olarak yükselip alçalmasını tanımlayan yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların depremlere olan etkilerini göz önünde bulundurarak incelenmiştir. Kullanılan matematiksel model iki boyutlu sonlu farklar zaman domaini (FDTD) modelidir. FDTD metodunun maxwell denklemleri ile sayısal olarak çözümlenebildiği bilinmektedir (Taflove, 2002). Elektron yoğunluğu gün ve gece zamanı iyonküre için denklem (4-3)’de gösterilmiştir.

$$Ne(z) = 1.43 \times 10^{13} e^{(-0.15H')} \quad x \quad e^{(\beta-0.15)(z-H')} \quad (4-3)$$

Denklem (4-3)'de gün için belirtilen değerler $H' = 74 \text{ km}$ ve $\beta = 0.3 \text{ km}$, gece için $H' = 87 \text{ km}$ ve $\beta = 0.6 \text{ km}$ 'dir. Gece ve gündüz arasındaki iyonküre geçişinin sorunsuz olduğu varsayılmıştır. Ayrıca iyonosferik karışıklığın denklem (4-4)'de olduğu gibi varsayılmıştır (Yamauchi vd., 2007).

$$\Delta h(x) = C e^{-\frac{(x-x_0)^2}{\Delta\sigma^2}} \quad (4-4)$$



Şekil 4-7 Kesim zamanı kayması

Depremin merkez üssü ve vericinin konumuna bağlı olarak $x_0 = 250 \text{ km}$ alınmıştır. Yatay ölçek, $\Delta\sigma$ değeri 200 km olarak kabul edilmiştir. Depremin merkez üssü iyonkürenin hemen üzerinde ise ($x = x_0$) olacaktır. C parametresi ile alt iyonküredeki kayma miktarını simgelenmektedir. C parametresi ile simgelenen iyonküre hareketi 1 ile 5 km arasında gerçekleşmektedir. Yapılan araştırmada kesim zamanlarındaki kaymaların tedirginlik parametrelerine olan bağımlılıkları incelenmiştir. Şekil 4-7'de C parametresine bağlı olarak gerçekleşen zaman kaymaları gösterilmeye çalışılmıştır. C parametresinin 0 olduğu an ($C=0$) kalın düz çizgi ile gösterilmiştir. Burada 10 dakikalık bir kayma zamanı $C=5 \text{ km}$ olduğu ana denk geldiği görülmüştür. İncelenen kesim zamanı değerleri gün

doğumuna aittir. Şekil 4-7'den de anlaşılacağı gibi gün dönümü normal zamandan 10 dakika erken gerçekleşmiştir. Bu gün zamanın uzaması sonucunu doğurur. Bu olayların tam tersi iyonkürenin yükselmesi içinde söylenebilmektedir (Yamauchi vd., 2007).

Tahminde kayaç hareketliliğinin ölçülmesine dayalı olan geleneksel yöntemlerin kullanılması alışla gelmiştir. Ancak bu tarz mekanik ölçüme dayalı sistemlerin kısa vadeli tahminlerde çokta kullanışlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Böylece elektromanyetik etkiler yoluyla yeni bir tahmin yöntemi ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmalar ile elektromanyetik olguların geniş frekans aralığında büyük depremle ilişkilerini tanımlayan birçok kanıt birikmiştir. Mekanik etkilerin sağladığı bilgi uzun vadeli olarak depremler hakkında bilgi verebilirken, elektromanyetik dalgalar kısa vadeli olarak bilgi sağlamaktadır. Son on yılda yapılan çalışmalar ile beklenmedik bir şekilde sismik etkilerin iyonküre üzerinde son derece hassas etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir (Hayakawa, 2008).

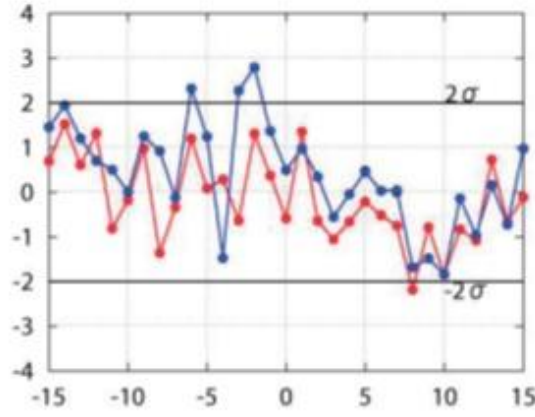
Hayakawa'nın 2008 yılında gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, yöntem olarak gece zamanı genlik değerlerinin depremi de içerisine alan 30 günlük veri aralığının ortalaması ile farkının alınması ile elde edilmektedir.

Yapılan araştırmalarda aşağıdaki yargılara ulaşılmıştır (Hayakawa, 2008).

- Gece süresi genliği depremlerden yaklaşık 2-5 gün önce gözle görülür düşüşler sergilemektedir. Büyüklüğü 6'dan fazla olan depremler de bu düşüş 2σ değerini aşmaktadır.
- Deprem büyüklüğü 6 ve üzeri olan sismik hareketliliklerde gece süresinin aşırı dalgalanması sonucu ortaya çıkar.

Gece süresinin uzunluğu ve gece aktarılan sinyalin genliklerine bağlı olarak çizilmiş olan grafik Şekil 4-8'de gösterilmektedir. Grafikte de 2σ değeri özellikle büyük depremlerden önceki birkaç günde aşılmıştır (Hayakawa, 2008).

Dalgacık analizi dA üzerinde uygulanırsa ve VLF sinyalleri üzerinede çapraz-korelasyon çalışması yapılırsa Şekil 4-8'de ki karakteristik ortaya çıkarılmış olur. Dalga deprem merkez üssünden dışarıya doğru yayılmakta ve dalgalanmasının hızı 20 m/s üzerindedir (Hayakawa, 2008).



Şekil 4-8 2σ değeri aşımı

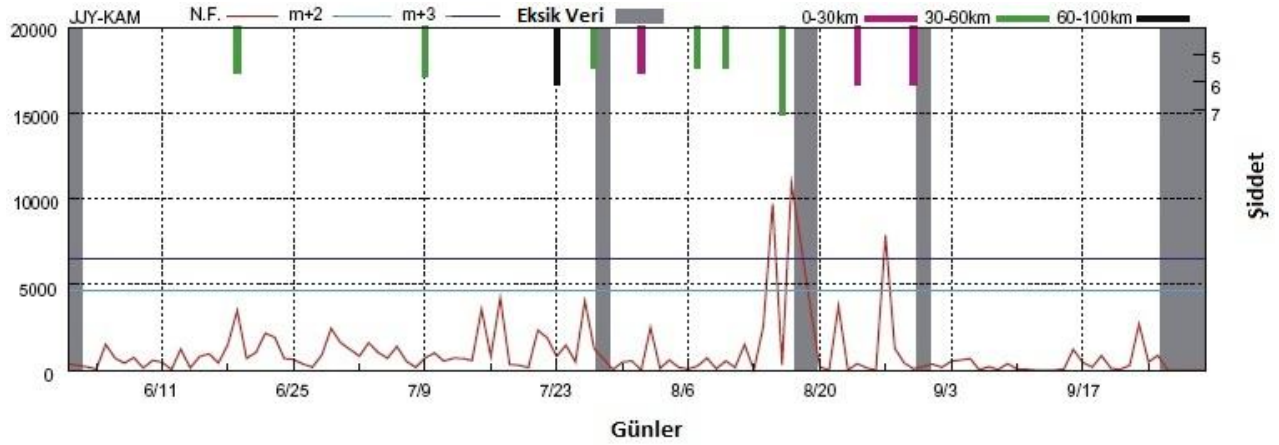
Yapılan bir diğer çalışmada büyük depremlerin iyonkürede sebep oldukları karakteristik değişimleri baz alınarak Japonya’da gerçekleşen depremler incelenmiştir (Muto vd., 2009). Litosfer- iyonküre bağlantısının sismo-elektromanyetik ilişkileri üzerine araştırma yapılmıştır.

Hedef Deprem ve Analiz periyodu; 16 Ağustos 2005 ‘e 7.2 büyüklüğünde ve 36 km derinlikte gerçekleşen Miyagi-oki depremi üzerine yapılan bu çalışma için 4 aylık periyod incelenmiştir. Asıl deprem gerçekleştikten sonraki sürede çok sayıda artçı depremler oluşmuştur. Bu depremlerin merkez üssü genelde VLF sinyal yollarının üzerindedir (Muto vd., 2009).

İki dakikada bir elde edilen VLF sinyallerinin genlikleri analiz edilmiştir.

$$dA(t) = A(t) - A(t - 1) \quad (4-5)$$

Denklem (4-5)’te verilen eşitlikte belirtilen $A(t)$ ifadesi sinyalin zamana bağlı olarak genlik değerini ifade etmektedir. $A(t - 1)$ referans değeri ise t anlarının ± 15 günlük ortalamalarında elde edilen sinyaldir. Normal ortalama alınmaktansa bu yöntemle karakteristik bozulmalarının önleneyeceği düşünülmüştür. Kesim zamanları dikkate alınarak gece vakti verileri kullanılmıştır. Gece vakti genlik değeri gece vaktinin tamamının ortalaması olarak hesaplanmaktadır (Muto vd., 2009).



Şekil 4-9 Deprem öncesi gözlemlenen tedirginlikler

Şekil 4-9'da verilmiş olan grafikte de görüldüğü gibi depremlerin öncesinde gözlemlenebilir bir tedirginlik göstermiştir. Şekil 4-9'da kırmızı çizgiler ile gösterilen grafik hesaplanmış $dA(t)$ değerini ifade etmektedir. Grafiğin üst kısmında yer alan yeşil ve kırmızı dikey çubuklar ise gerçekleşmiş depremlerin zamanı ve büyüklükleri hakkında bilgi vermektedir. Dikkat edileceği üzere açık yatay mavi ile çizilmiş olan 2σ sınırı özellikle büyük depremlerde zorlanmıştır. Aynı şekil koyu mavi çizgi ile çizilmiş olan 3σ sınırı büyük depremlerde aşılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz çalışması ile depremlerin meydana gelmesinden önceki birkaç gün içerisinde ölçülen değerlerin 2σ ve 3σ sınırlarının üzerine çıktığı gözlemlenmiştir (Hayakawa, 2008).

4.3.2 Deprem – Toplam Elektron İçeriği İlişkisi Metodu

Elektromanyetik dalgaların yayılım ortamı iyonküredir. İyonkürenin depremlerden önce karakteristik değişimlere uğradığı bilinmektedir (Molchanov vd., 1998). Bu değişimlerin karakteristik olarak takip edilebilmesi depremlerin önceden tahmin edilebilmesi sonucunu doğuracaktır. İyonkürenin, elektron içeriği bakımından takip edilmesi depremlerin öncü habercilerinin tespitini sağlayabilmektedir. İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği (TEC) baz alınarak yapılan tahmin için birkaç yöntem bulunmaktadır.

4.3.2.1 İlinti (Korelasyon) Analizi

İlinti analizi yerkürede meydana gelen sismik olayların iyonküre tabakası üzerindeki etkilerini anlamlandırmak için kullanılabilen bir yöntemdir. İlinti analizi yöntemi, elektron yoğunluğu değişkeni üzerine uygulanmıştır. Jeomanyetik olarak sakin ve karışıklık olduğu

günlerde GPS veya iyonosondalar ile elde edilen veriler üzerinde çalışılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar içerisinde elektron yoğunluğu değişimini bulmak için iyonosondalar ve GPS ağlarından elde edilen bilgilerden faydalanılmıştır. Yapılan çalışmada iki ölçüm noktası bulunmaktadır. Depremden etkilenen alanda bulunan “alıcı-sensör”; ikincisi ise depremden etkilenmemesi için bölge dışındaki bir yerde olan “kontrol-alıcı” ‘dır. Örnek günler için eşit zaman aralıklarında kritik frekans ve dik toplam elektron içeriği (VTEC) bilgisi toplanmıştır. Kritik frekans için günlük çapraz ilinti katsayısı, (C) (4-6) denklemi ile hesaplanmıştır (Kouris, 2006) (Pulinets, 2004) (Karatay, 2010).

$$C = \frac{\sum_{i=0}^k [f_1(i) - af_1][f_2(i) - af_2]}{k[\sigma(1)\sigma(2)]} \quad (4-6)$$

Denklem (4-6)’de verilen 1 ve 2 numaraları, istasyonları temsil etmektedir. Kritik frekansların aritmetik ortalaması ile af kritik frekansı bulunmaktadır. Bu denklem (4-7)’de gösterilmiştir. Denklem (4-8)’de σ standart sapma değeri bulunmaktadır.

$$af = \frac{\sum_{i=0}^k f(i)}{k + 1} \quad (4-7)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^k [f(i) - af]^2}{k} \quad (4-8)$$

Denklem (4-8)’den hareketle Rusya aktif sismik bölgesi içinde yer alan Petropavloskna-Kamchatke (53.0° K, 158.7°D) “alıcı-sensör” ve Magadan (60.0° K, 151.0° D) “kontrol-alıcı” istasyonlarından elde edilen verilerle Batı Pasifik alanında; Rusya’nın uzak doğusu, Tayvan ve Japonya’da ki birkaç deprem araştırılmıştır. Kritik frekans için Ocak 1974 tarihinden itibaren ayrı ayrı özilinti katsayıları ve her iki istasyonun birlikte çapraz-ilinti katsayıları hesaplanmıştır. İncelenen iki zaman aralığındaki çapraz-ilinti katsayılarının 120 günlük zaman aralığında depremlerden önceki 1-7 arasında değişen günlerde 0.9’un altına düştüğü gözlenmiştir (Kouris, 2006) (Pulinets, 2004) (Karatay, 2010).

4.3.2.2 Çeyrekler Arası Alan Analizi

Toplam elektron içeriği sürekli olarak kaydedilerek, yeryüzündeki bozulmalar incelenmiştir. İyonküreye üzerinden 30 sn’de bir Yer küresel Konumlama Sistemi (GPS) alıcıları tarafından kaydedilen elektromanyetik dalgalardan Eğik Toplam Elektron İçeriği hesaplanmıştır (Liu vd., 2004).

Yapılan çalışmalarda, Çeyrekler Arası Alan analiziyle (Liu vd., 2004), Eylül 1999-Aralık 2002 yılları boyunca Tayvan'da en az M=6.0'de meydana gelmiş 20 deprem incelenmiştir. Bunun için depremin oluş gününden önceki 15 günlük zaman diliminde VTEC değeri hesaplanmıştır.

Kullanılan veriler Chung-Li iyonosonda istasyonu (25°K, 120° D) ve Yang-Ming-San GPS istasyonundan (25.3° K, 120° D) elde edilmiştir. (Liu vd., 2004). İncelenen 20 deprem verisi içerisinde 16 depremden 5 gün önce VTEC anormalliği ölçülmüştür.

4.3.2.3 Toplam Elektron İçeriği (TEC) Fark Analizi

TEC fark analizi yöntemi ile yapılan çalışmada (Plotkin, 2003), Kp-indisi ve güneş rüzgârlarına bağlı TEC değişimleri üzerinde çalışılmıştır. Çalışma içerisinde deprem günü ve sakin-karışık gün analizleri yapılmıştır. Bu analizler karışık ve sakin gün verileri paralelinde incelenerek depremlerin etkileri araştırılmıştır. Depremlerin olduğu günlerdeki sapmaların kaynakları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada (Plotkin, 2003), altı alıcıdan alınmış mutlak TEC değerleri kullanmıştır. Günlük Güneş döngüsüne bağlı olarak birkaç saatlik zaman diliminde TEC zaman serileri için etkin değer hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada 13 Şubat 2001 El Salvador depreminde elde edilen verilere göre TEC farkları denklem (4-9)'da olduğu gibi hesaplanmıştır (Karatay, 2010).

$$dTEC = (TEC)_i - (TEC)_{i+1} \quad (4-9)$$

Depremden etkilenen dört istasyon ve depremin etki alanı dışındaki iki istasyondan elde edilen veriler kullanılmıştır. Tüm istasyonlarda denklem (4-9)'daki dTEC hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Etki alanındaki istasyonlar ve etki dışındaki farklarının günlük değişim eğrisi çizilmiştir. İki eğride de depremden 2 gün önce etki alanı içindeki istasyonlarda karakteristik azalmalar saptanmıştır.

4.3.3 Radon Gazı Ölçümü Metodu

Deprem öncü haberci tahminleri için yapılan araştırmalarda elde edilen bir diğer önemli etken ise radon gazı salınımı ölçümü yöntemidir. Yapılan araştırmaların birçoğunda depremlerden önce fay hatlarından normalin üzerinde radon gazı salınımı gözlemlenmiştir (Saç ve Camgöz, 2005) (Zmazek vd., 2002). İncelemeler ile depremlerin büyüklükleri ve

radon gazı değişimleri arasındaki ilişki ortaya koyulmaya çalışılmıştır (Saç ve Camgöz, 2005). Kuzey Hindistan’da 1997 yılında yapılan bir çalışmada, 5.4 büyüklüğündeki bir deprem öncesinde yer altı su kaynaklarındaki radon gazı ölçümlerinde değişimler gözlemlenmiştir (Signh vd., 1999). Hindistan’da 1999 yılında Chamoli depremi öncesinden topraktaki radon gazı değişimlerinde farklılıklar gözlemlenmiştir (Saç ve Camgöz, 2005) (Virk vd., 2001). Slovenya’da yapılan bir diğer çalışmada gerçekleşen deprem öncesinde fark edilebilir radon gazı değişimi gözlemlenmiştir.

Radon gazı radyoaktivitesi yüksek, dünyada ender bulunan bir gazdır. Radon gazı ölçümleri genelde yer altı sularında ve toprakta yapılmaktadır. Radon gazı ölçümü için kullanılan yöntemler;

- **Statik yöntem ile radon gazı ölçümü:** Topraktaki gaz doğrudan detektörden geçirilerek yapılan ölçümdür.
- **Dyck yöntemi ile radon gazı ölçümü:** Toprak veya su numunesi üzerinden yapılan ölçümdür.
- **İz kazıma yöntemleri ile radon gazı ölçüm yöntemi:** Yerin belli bir derinliğine gömülen iz kazıma detektörleri üzerinde oluşan radon ve ürünlerinin kalıntıları mikroskop altında sayılmaktadır (Kolbaşı, 1997) (Saç ve Camgöz, 2005).
- **Kollektör yöntemi:** Radon gazının vakumlanmış kolektör odasına aktarılması sonucu radon ve ürünlerinin bakır planşette belli bir süre elektriksel potansiyel altında bir araya toplanmasından sonra alfa sintilasyon sayacında sayılması ile ölçüm yapılmaktadır (Kumru, 1992).

Elektromanyetik VLF işaretleri iyonküre üzerinden aktarılmaktadır. Radon gazının atmosferdeki iyonize etkisi, depremler ve işaretlerdeki değişim bilgileri arasında ilişki kurulması ile doğrudan alakalıdır. Radon gazı atmosfere salındıktan sonra iyonküredeki iyonizasyonu değiştirecektir. Depremlerin öncesinde salınan radon gazlarının, iyonkürenin elektron yoğunluğu ve iletim performansına olan etkisinin varlığı VLF işaretlerinin kullanımının faydalı bir yöntem olacağı gerçeğini ortaya koymaktadır (Saç ve Camgöz, 2005) (Pulinets vd., 1997) (Kumru, 1992) (Zmazek vd., 2002).

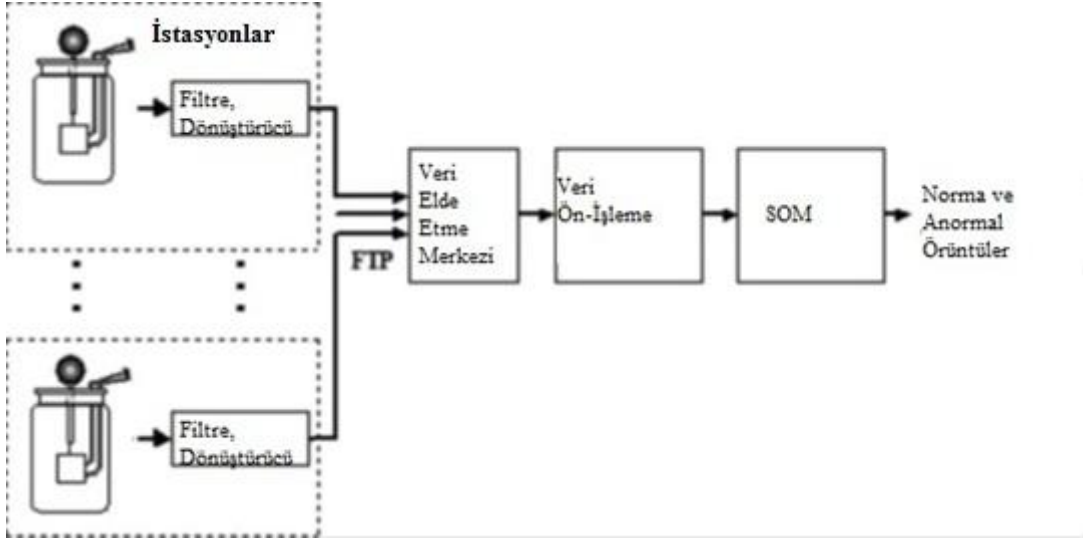
4.3.4 Kayaç Gerginliği Ölçümü Metodu

Elektriksel ölçüm yöntemleri ile yerel kayaç gerginliklerinin değişimlerinin kayıt altına alınmasına dayanmaktadır. Elde edilen verilerin anlamlandırılarak, olası depremler ile ilgili beklenmedik değişikliklerin haberci olup olmadıklarına karar verilmektedir (URL-9, 2011).

Tahmin yöntemi olarak kullanılması önerilen Kayaç Gerginliği Ölçümü sistemi, 1999 yılında yapılmış olan başvuru ile TPE 1999/02911 numaralı patente sahiptir. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi ve Jeofizik bölümü, Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü ve İstanbul Üniversitesi Jeofizik bölümü akademisyenleri tarafından oluşturulmuş çalışma grupları tarafından bir proje olarak yürütülmektedir (URL-10, 2011).

Projede Marmara bölgesinde yaklaşık 30 istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlardan toplanan veriler uygulamanın birinci aşamasını oluşturmaktadır. Eğer bu verilerinden elde edilen elektromanyetik dalga bilgileri üzerinde beklenmedik değişimler gözlemlenirse ikinci aşama olan olası deprem tahmini devreye girmektedir (URL-9, 2011).

Yerküredeki fay hatları üzerine yerleştirilmiş elektrotlar aracılığı ile alınan elektriksel işaretlerin, depremlerle olan ilişkileri araştırılmaktadır (Üstündağ vd., 2004). Kurulan pilot istasyonlar aracılığı ile çok düşük frekanslı (VLF) ve aşırı düşük frekanslı (ULF) yerküre kaynaklı elektriksel yük yayınları ölçülmektedir (Özerdem ve Üstündağ, 2005). Kayalar, yapılarına bağlı olarak çeşitli piezoelektrik malzemeler içermektedir. Fay hatları üzerindeki kayaçların uzun süreli gerginlik artışları ve kırılma sürecindeki gerginlik değişimleri, piezoelektrik kaynaklı elektromanyetik alan değişimlerine bağlı olarak yüzeyden izlenmesi mümkün olduğu teorisi üzerine çalışılmaktadır (URL-11, 2011). İstanbul Teknik Üniversitesinde başlatılmış olan bu projede elektronik işaret işleme yöntemleri ile gürültü bileşenini en aza indiren bir sayısal ölçme düzeni geliştirilmiştir (Üstündağ vd., 2004). Şekil 4-10'da kayaç gerginliği ölçüm sisteminin temel çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 4-10 Kayaç Gerginliği Ölçüm sisteminin çalışma şekli

Veriler istasyonlarda çalışan, işaret üretici sistemlerden edinilmektedir. Bu işaretler FTP aracılığı ile “Veri Elde Etme Merkezi” ne gönderilmektedir. İşaretler, veri işleme teknikleri ve SOM (Self Organizing Maps) üzerinden anlamlandırılmaktadır. Bu işlem sonucunda olası deprem etkileri ortaya koyulmakta ve tahminleri ileri sürülmektedir.

5 VERİ MADENCİLİĞİ

5.1 Giriş

Büyük miktarda veri içerisinde, anlamlı modeller ve kurallar ortaya koyabilmek ve üstü kapalı, çok net olmayan, önceden bilinmeyen ancak potansiyel olarak kullanışlı bilginin ortaya çıkarılabilmesi için bir takım yöntemler kullanarak veri analiz etme ve inceleme sürecine veri madenciliği adı verilmektedir (Vahaplar ve İncoğlu, 2001) (Mitra vd., 2002) (URL-12, 2011). Aynı zamanda elde edilmiş verilerin analizi ile kurulmuş olan kurallar içerisinde, verilerin ürettikleri sonuçlara paralel gelecek tahminleri yapılabilmesini sağlamaktadır.

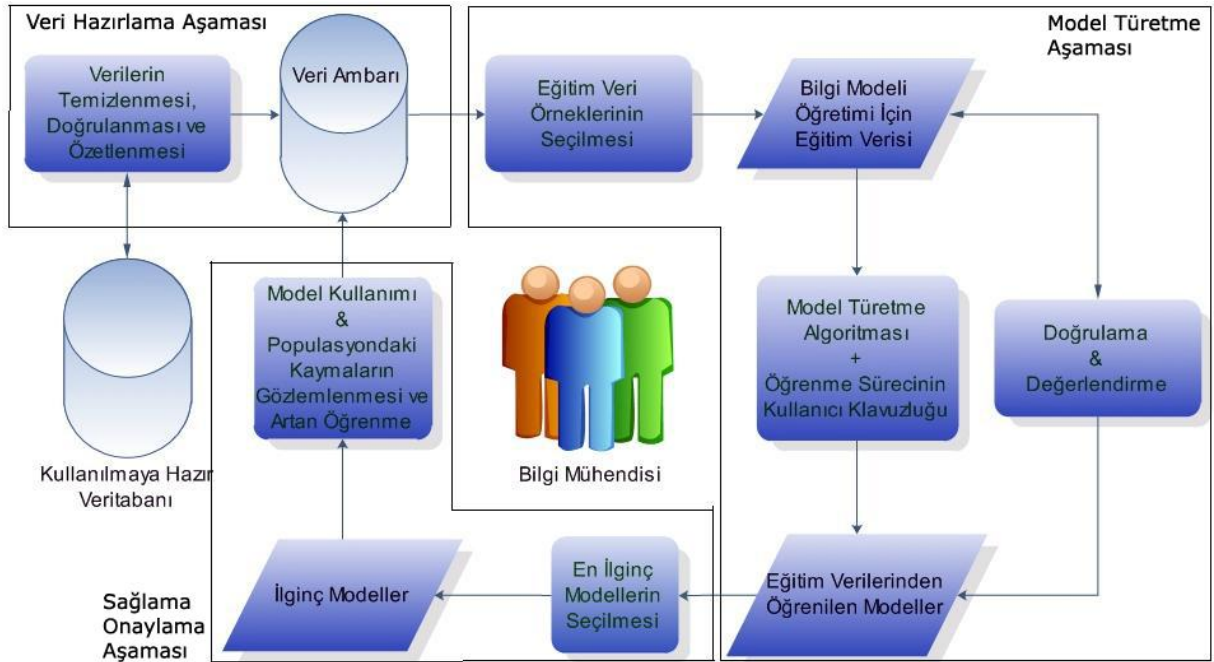
Elektronik ticaret, bilim, tıp, iş ve eğitim alanlarında çokça uygulama örneklerine sahiptir. Mühendislik alanında kullanımının artması bazı zor problemlerin kolay çözümlere ulaşılmasına yardımcı olacaktır. Örneğin tezde çalışma konusu olarak belirlenen VLF işaretlerinin taşıdığı bilginin anlamlandırılmasına yönelik olarak yapılan çalışma veri madenciliği analiz yöntemlerinin dışında çok zor ve vakit alıcı çözüm yollarına sahiptir. Veri madenciliği, eldeki ham veriden, anlamlı ve kullanışlı veriyi çıkarmaya yarayacak tümevarım işlemlerini formülle analiz etmeye ve uygulamaya yönelik çalışmaların bütünüdür.

Alıcı VLF antenler vasıtasıyla elde edilen VLF işaret kümesi yığınla anlamlı / anlamsız veri barındırmaktadır. Bu veri kümesi içerisinde değerli veri elde etme ya da verilerin anlamlandırılmasını sağlama, gelecek tahmini çerçevesinde önemli istatistikî bilgi edinimini sağlayacağı düşünülmektedir. Dünyanın çeşitli noktalarından gönderilen VLF işaretleri, kat ettiği ortamların iletim ve yansıtma katsayılarına bağlı olarak ilerlemektedir. Bu ortamların iletim katsayıları ise çeşitli etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin yer kürenin Elektromanyetik alanın değişmesine sebep olan deprem öncesi hareketlilikler veya fay kırıkları arasından sızan Radon gazının iyonküredeki serbest iyonların oranını değiştirmesi önemli etkenlerdir. Bu etkenlerin elde edilen VLF işaretleri üzerindeki değişim etkileri ise en kolay olarak Veri Madenciliği algoritmaları ile anlamlandırılabilirliği düşünülmektedir.

Veri madenciliği süreçleri; problemin tanımlanması, verilerin hazırlanması, modelin kurulması ve değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır. Verinin temizlik ve gereksiz verilerin atılması işlemlerine tabi tutulması ile verilerin hazırlanması sağlanmaktadır. Analiz edilecek olan verilerin içerisindeki eksik verilerin yığından çıkarılması ile verilerin temizlenmesi gerçekleştirilmektedir (Tan, 2005).

Veri madenciliği modelinin kurulması için genel olarak takip edilmesi gereken birkaç adım vardır. Karar ağaçları, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar bellek temelli nedenleme gibi model kurulmasını sağlayan tekniklerden biri seçilmelidir. Kurulmuş modeller üzerinde çalışan analiz yöntemleri; kavram/sınıf tanımlaması, birliktelik analizi, sınıflandırma ve öngörüm, küme analizi, aykırı değer analizi, değişim analizi şeklindedir.

Şekil 5-1’de veri madenciliği yaşam döngüsü görülmektedir (Oğur, 2004) (Tan, 2005).



Şekil 5-1 Veri madenciliği yaşam döngüsü

Bu bölümde veri madenciliğinden kısaca bahsedilecektir. Veri madenciliği bilgi keşfi, veri madenciliği algoritmaları ve veri işlemede karşılaşılan problemler incelenecektir. Veri madenciliği ile tezin konusu olan deprem tahmin algoritmalarının nasıl ortak bir çözümün paydası olacağı tartışılacaktır.

Bu bölümde devamla veri madenciliğinin getirmiş olduğu veri incelemedeki kolaylıklardan, VLF işaretleri içerisindeki bilginin keşfini sağlayacak olan algoritmalara kaynak teşkil edecek literatürdeki çalışmalardan bahsedilecektir.

5.1.1 Veri Madenciliğinin Tarihsel Gelişimi

Veri toplama yöntemi ile bilgi edinim yöntemleri 1960 yıllardan beri kullanılmasına rağmen faydalı sonuçlar elde edilmesi sınırlı seviyede kalmıştır. İlişkisel veri tabanı modellerinin 1970’li yıllarda kullanılmaya başlanması ile beraber insanların veriler arasındaki bağıntılar üzerine yaptıkları çalışmalar artmıştır. Yapının karmaşıklaşması verilerinin analizlerinden elde edilen bilgilerin daha ayrıntılı olması yapılan araştırmalar ile görülmüştür. Ancak bu karmaşık sorgu yapısında, bilgi yığınının elde edilmesi planlanan verileri çıkaracak sorguların tam olarak hedefi tarif etmesi gerekmektedir. 1990’lı yıllardan sonra ise veri ambarları ve veri tabanlarının yoğun olarak kullanımı artmıştır. Bilişim alanındaki çok hızlı gerçekleşen gelişmeler, çok miktardaki verinin analizini yaparak işletme operasyonları için faydalı bilgilerin elde edilmesine imkân sağlamıştır (Baysal, 2008) (URL-13, 2011). Tablo 5-1’de veri madenciliği evrimsel adımları görülmektedir.

Tablo 5-1 Veri madenciliği evrimsel adımları (URL-13, 2011)

Evrimsel Adım	İş Sorusu	İmkân Veren Teknolojiler	Karakteristikler
Veri Toplama (1960’lar)	“Son beş yıldaki toplam gelirim ne kadardır?”	Bilgisayarlar, Teypler, Diskler	Geçmişle ilgili statik veri sağlama
Veri Girişi (1980’ler)	“Geçen Ekim ayında Türkiye’de birim satış miktarı ne kadardır?”	İlişkisel Veritabanları, Yapısal Sorgu Dilleri	Geçmişle ilgili, kayıt düzeyinden dinamik veri sağlama
Veri Ambarlama ve Karar Destek (1990’lar)	“Geçen Ekim ayında Türkiye’de birim satış miktarı ne kadardır?”	On-line Analitik Proses (OLAP), Çok boyutlu Veri Tabanları, Veri Ambarlama	Geçmişle ilgili, çok çeşitli düzeylerden dinamik verilerin elde edilmesi
Veri Madenciliği (Bugün)	“Türkiye’de gelecek ay olası birim satış miktarı ne olacaktır? Neden?”	İleri Algoritmalar, Çok işlemcili bil., çok büyük veri tabanları	Geçmişle ilgili, ilişkisel bilgi sağlama

Veri madenciliğinin ham veriden bilgiyi çıkaran veri analiz süreci olduğu Jacobs tarafından 1999'da ortaya atılmıştır (Jacobs, 1999). David, 1999'da veri madenciliğinin büyük hacimli verilerdeki örüntüleri araştıran matematiksel algoritmaları kullandığını yaptığı çalışmalarda göstermiştir. Davis'e göre veri madenciliği hipotezleri keşfetmekte ve birleştirmek için insan yeteneği kullanmaktadır (Davis, 1999). Dumouchel, 1999'da veri madenciliğinin geniş veri yığınlarındaki birliktelikleri araştırdığını belirtmiştir (Dumouchel, 1999). Kitler ve Wang 1998 yılında, veri madenciliğini oldukça tahminci anahtar değişkenlerin binlerce potansiyel değişkenden izole edilmesini sağlama yeteneği olarak tanımlamışlardır (Kitler ve Wang, 1998).

5.2 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 (Davis, 1999). Bu aşamalar sonunda ham veri yığından anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Veri madenciliğinde bilginin keşfi sürecini oluşturan birkaç adım bulunmaktadır.

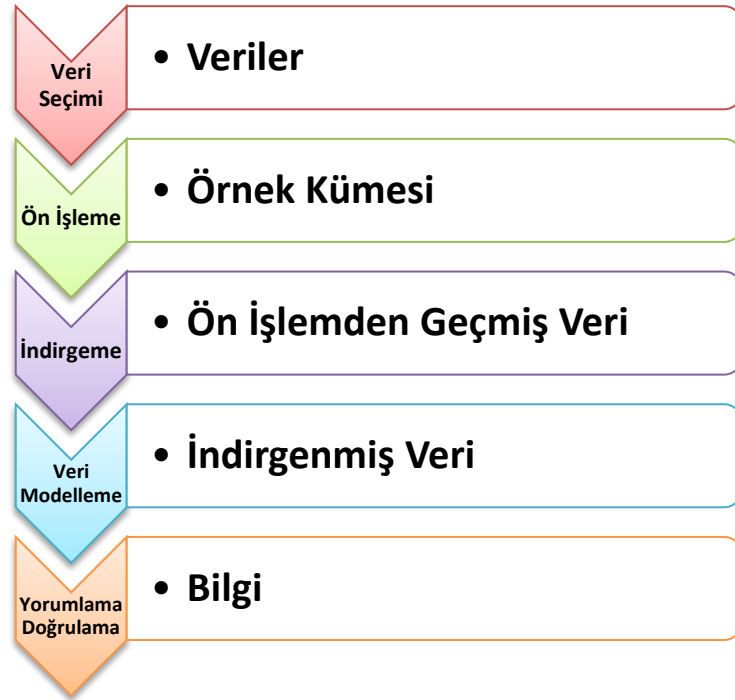
5.2.1 Veri Madenciliği Bilginin Keşfi Süreci Adımları

Veri tabanlarında veya veri yığınlarında büyük miktarlarda anlamsız verinin tutulduğu bilindiğine göre bu verilerin veri madenciliği teknikleriyle işlenmesine de veri tabanında bilgi keşfi denir (KDD). Geliştirilmiş yeni sistemler ve teknikler ile büyük veri yığınlarında bulunan bilgilerin işlenmesi gerçekleştirilmektedir. Prof. Dr. Usama Fayyad'a göre KDD sürecinde yer alan adımlar şu şekilde sıralanmaktadır (Aydoğan, 2004);

- **Veri seçimi:** Veri seçimi işlemi ile kümeler, üzerinde çalışmaya uygun hale getirilmektedir. Elde edilen verilere örnekleme kümesi denmektedir.
- **Veri temizleme ve ön işleme:** Örnekleme kümesi elde edildikten sonra, bu kümede yer alan hatalı verilerin ayrıştırıldığı ve eksik niteliklerin uygun şekilde düzeltildiği basamaktır. Böylece bir sonraki adımda yapılacak olan işlemler için gereksiz bilgidan arındırılmış veriler üzerinde işlem yapılacaktır. Bu işlem performansını etkileyen önemli bir adımdır.

- **Veri madenciliği:** Bu aşamada örnekleme kümesine veri madenciliği sorgusu uygulanacaktır.
- **Yorumlama:** Veri madenciliği sorgularından ortaya çıkan sonuçların yorumlanma kısmıdır. Burada geçerlilik, yenilik, yararlılık ve basitlik açılarından üretilen sonuçlar yorumlanmaktadır.

Bu aşamalar Şekil 5-2’de ifade edilmiştir.



Şekil 5-2 Veri madenciliğinde bilginin keşif süreci adımları

5.2.2 Problemin Tanımlanması

Veri madenciliği yöntemlerinden başarılı sonuçların alınması için, uygulama alanının tam anlamıyla tanımlanması gerekmektedir. Problem kümesine ait olan tüm parametreler iyi bir şekilde analiz edilmeli ve açık bir dil ile ifade edilmelidir. Edinilmiş sonuçların başarımlarının nasıl ölçüleceği önceden belirlenmelidir. Yapılacak olan işlemler sonucunda elde edilen cevabın hatalı olma olasılığı ortaya koyularak, doğruluk değerinin belirlmesi gerekmektedir (Aydın, 2006).

5.2.3 Verilerin Hazırlanması

Problemin tanımlanmasından sonraki evrede yapılması gereken işlem verilerin kullanılabilir hale getirilmesidir. Modelin kurulması aşamasında ortaya çıkacak sorunlar, bu aşamaya sık sık geri dönülmesine ve verilerin yeniden düzenlenmesine neden olmaktadır (Aydın, 2006) (Mitra vd., 2002). Verilerin hazırlanması aşaması kendi içerisinde toplama, değer biçme, birleştirme ve temizleme, seçme ve dönüştürme adımlarından meydana gelmektedir (Oğur, 2004) (Mitra vd., 2002).

5.2.3.1 Toplama

Problemi tanımlayan verilerin tespitinin yapılması ve kullanılacak olan verilerin yığınlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu verilerin elde edileceği kaynakların da tanımlanması bu adımda gerçekleşmelidir (Ayık vd., 2007).

5.2.3.2 Değer Biçme

Veri madenciliği uygulamalarının bazılarında kaynak verilerinin farklı ortamlardan elde edilmesi ile benzemez veri kümeleri oluşmaktadır. Tez konusu itibari ile VLF işaretlerinin tamamının aynı parametrik yapıda yayılım yapmadığı bilinmektedir. Gerekli takdirde bu adımda bazı normalizasyon işlemleri yapılacaktır. Unutulmamalıdır ki iyi sonuç elde etmenin yöntemi sağlıklı veri yığınları üzerinde yapılan çalışmalar ile gerçekleşecektir. Özellikle bu adımda verilerin uyumlarının kontrol edilmesi ve olası uyumsuzlukların ortadan kaldırılması gerekmektedir (Aydın, 2006).

5.2.3.3 Birleştirme ve Temizleme

Çok farklı kaynaklardan elde edilmiş olan veri yığınları üzerindeki tüm uyumsuzlukların giderilmesinin ardından, anlamlandırma işlemlerine tabi tutulmak üzere bu veriler tek bir veri ambarında saklanmaktadır. Bu adımda veri yığını içerisinde ki arızalı verilerin temizlenmesi işlemleri de gerçekleştirilmektedir.

5.2.3.4 Seçim

Seçim aşamasında cevap üretme modelinden geçirilecek olan veri kümesinin seçimi gerçekleşmektedir. Bu adımda veri yığınları içerisinde olası bilgi barındıran tüm veriler işleminden geçmek üzere seçilmektedir (Ayık vd., 2007).

5.2.3.5 Dönüştürme

Kurulacak modele göre önceden hesaplanmış bir oran yerine ayrı ayrı verilerin kullanılması işlemidir. Böylece kullanılacak olan algoritmaya göre verinin hesaplanmasında oluşacak değişiklikler modele yansıtılabilmektedir (Aydın, 2006).

5.2.4 Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi

Modellerin kurulması, ilgili problemin en iyi çözümünü veren modele erişinceye kadar devam etmektedir. Ancak çok sayıda model kurulup başarımların analizi yapıldıkça olgunlaşmış modele doğru ilerlenecektir. Bir modelin ilk denemede uygun sonuçları vermesi beklenmemelidir. Doğru modele kadar uzanan bu süreç, yenilemeli bir süreçtir (Ayık vd., 2007) (Mohammed, 2003).

Modellerin kurulması sürecinin denetimli ve denetimsiz öğrenimin kullanıldığı modellere göre farklılık göstermektedir (URL-14, 2008). Denetimli öğrenme yöntemi örnekten öğrenme olarak da ifade edilebilir. Denetimi sağlayan yapı tarafından önceden belirlenmiş parametrelere göre anlamlandırılmış sınıflar oluşturulmaktadır. Amaç örneklerden hareket ile her bir duruma ilişkin karakteristik özelliklerin bulunarak kural cümleleri haline getirilmesini sağlamaktır. Öğrenme süreci tamamlandığında, tanımlanan kural cümleleri verilen yeni örneklerle uygulanır ve yeni örneklerin hangi sınıfa ait olduğu kurulan model tarafından belirlenir (Ayık vd., 2007).

Denetimsiz öğrenmede, kümeleme analizinde olduğu gibi ilgili örneklerin gözlenmesi ve bu örneklerin özellikleri arasındaki benzerliklerden hareket ederek sınıfların tanımlanması amaçlanmaktadır (Ayık vd., 2007).

5.2.5 Modelin Kullanılması ve İzlenmesi

Oluşturulan ağ yağısının eğitiminin tamamlanması ve sonuçlarının incelenmesi süreci ile modelin kullanılması ve izlenmesi adımı başlamaktadır. Seçilen öğrenme algoritması, ağ yapısı ve diğer ağ parametreleri ile kurulan ve rastgele seçilen örnek eğitim verileri ile değerlendirilen ağın eğitim amaçlı kullanılmasıdır (Aydoğan, 2004).

Eğitimi tamamlayan ağın test aşaması da modelin kullanılması sürecinin içerisinde olmakla birlikte test sonuçlarının yorumlanması, hata paylarının kabul edilebilirliği gibi değerlendirme aşamasında eğitim verileri ile gözlenmeye çalışılan sonuçların değerlendirilmesi modelin izlenme sürecine dâhildir.

Modelin izlenmesi, yukarıda da belirtildiği gibi kullanılan modelin test sonuçları ile hata yüzdesinin uygunluğunun yorumlanması ve kullanılan modelin farklılaşan verilere ne gibi tepkiler verdiğinin gözlenmesi süreçlerini içinde barındırmaktadır.

5.3 Veri Madenciliği Modelleri ve İşlevselliği

Tahmin edici ve tanımlayıcı olarak iki farklı başlık altında veri madenciliği modelleri incelenmektedir. Bu modellerde, sonuçları bilinen eğitim veri yığınları baz alınarak bir model geliştirilmesi ve kurulan bu modelden yararlanılarak sonuçları bilinmeyen veri kümeleri için sonuç değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır (Mitra vd., 2002). Tanımlayıcı modellerde ise karar vermeye rehberlik etmede kullanılabilecek mevcut verilerdeki örüntülerin tanımlanması sağlanmaktadır (Ayık vd., 2007) (Akpınar, 2000).

Gördükleri işlevlere göre veri madenciliği modelleri; kavram/sınıf tanımlaması, birliktelik analizi, sınıflandırma ve öngörüm, kümeleme analizi, aykırı değer analizi, değişim analizi şeklinde sıralanmaktadır.

5.3.1 Kavram/Sınıf Tanımlaması

Sınıflar ve kavramlar verilerin ilişkilendirilmesi için kullanılmaktadır. Problem içerisinde sınıflar ve kavramlar oluşturulur. Sınıf ve kavramların tanımları üç yolla elde edilmektedir (Oğur, 2004). Bunlar;

- Veri Karakterizasyonu; Genel terimler ile aktif sınıfın özetlenmesi ile;

- Veri Ayırma; Bir dizi karşılaştırmalı sınıf ile hedef sınıfın mukayesesi;
- Karakterizasyon ve ayrıştırmanın her ikisinin kullanılması;

yollarıdır.

Veri karakterizasyonu, hedef sınıf verisinin özelliklerinin veya genel karakteristiklerinin özetlenmesidir. Kullanıcı tanımlı sınıfa karşılık gelen veri, bir veri tabanı sorgulamasından elde edilir (Oğur, 2004).

5.3.2 Birliktelik Analizi

Birliktelik analizi, bir olayın gerçekleşmesi anında bazı etkilerin birlikte gerçekleşmesi ve bu birlikteliğin, olayların tekrarlarında da meydana gelmesi ile yapılmaktadır. Yapılacak birliktelik analizi ile elde edilen birliktelik kurallarının üretmiş oldukları sonuçlar hayati anlam taşıyacaktır.

Bir depremin oluşumdan önceki evrede, atmosferde iletilen VLF işaretlerinin üzerinde yaşanan bozulmalar incelenerek deprem oluşumu zamanı hakkında bir bilgi barındırıp barındırmadığına dair karar verilebilecektir.

Büyük veri yığınlarında birliktelik kuralları bulunurken takip edilen basamaklar;

- **Sık tekrarlanan öğeler bulunması:** Bu öğelerin her biri en az, önceden belirlenen minimum destek sayısı kadar sık tekrarlanmalıdır.
- **Sık tekrarlanan öğelerden güçlü birliktelik kurallarının oluşturulması:** Bu kurallar minimum destek ve minimum güven değerlerini karşılamalıdır.

Birliktelik kuralının en temel örneği market sepeti örneğidir. Analiz ile satın alınan ürünlerinin birlikte satın alınma alışkanlıkları incelendiğini düşünelim; Analiz satış ve pazarlama politikalarında belirleyici olmaktadır. “Meyve suyu veya Gazlı içecek alanlar, cips veya çerezde almaktadır.” veya “Dizüstü bilgisayar alanlar, mini farede almaktadır” şeklide birliktelik kuralları oluşturulmalıdır. (Aydın, 2006).

5.3.3 Sınıflandırma ve Öngörüm

Veri sınıflandırmalarını gerçekleştiren ve gelecek hakkında tahminlerde bulunan modelleri kuran önemli iki analiz yöntemi vardır. İlk analiz yöntemi olan sınıflandırma ile değerlerin kategorik olarak ayrılması sağlamaktadır. İkinci yöntem olan öngörüm ise süreklilik arz edilen verilerin gelecek tahminlerinin yapılmasında kullanılmaktadır (Özekes, 2003).

Bir başka sınıflandırma modeli banka kredi uygulamalarının güvenli veya riskli olmalarını kategorize etmek amacıyla, geliri ve mesleği verilen potansiyel müşterilerin bankacılık ürünlerini alırken yapacakları harcamaları tahmin etmek için kurulabilmektedir (Özekes, 2003).

Sınıflama ve regresyon modellerinde kullanılan başlıca teknikler şunlardır (Akpınar, 2000);

1. Karar Ağaçları
2. Yapay Sinir Ağları
3. Genetik Algoritmalar
4. Bellek Temelli Nedenleme
5. Regresyon Analizi

5.3.3.1 Karar Ağaçları

Karar ağaçları, yapısından kaynaklanan bazı uyumluluklara sahiptir. Anlamlandırılmasının kolay olması, veri tabanı sistemlerine entegre edilebilmeleri ve yüksek doğruluk ile çalışabilmelerinden dolayı sınıflandırma modelleri arasında en yaygın model olarak karşımıza çıkmaktadır (Özekes, 2003).

Yapısal olarak ağaç görünümünde tahminler geliştirilebilen bir tekniktir. Görünüş itibari ile kolay anlaşılabilen ve bilgi teknolojilerine dair işlemlere kolay entegre olabilen bir sınıflandırma tekniğidir. Bu karar ağaçları karar düğümleri, dalları ve yapraklarından oluşmaktadır. Testler karar düğümleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Tüm düğümler yapılan testler ile dallara veya sınıflandırma içeren yapraklara bağlanmaktadır. Ağacın her dalında bir sınıflandırma işlemi gerçekleşme olasılığı bulunmaktadır. Verilen karar

sonunda bir sınıflandırma gerçekleşiyorsa, dalın sonunda bir yaprak bulunmaktadır. Yaprak sınıflandırma işlemini tanımlamaktadır. Karar ağaçlarında test düğümlerinden ve dallardan ilerleyerek sınıflandırma yapılmaktadır (Özekes, 2003).

Karar ağacı yöntemi ile sınıflandırılma yapılması için iki adımlı bir işlem sırası gerçekleştirilmelidir. Birimci adımda karar ağacı yöntemi ile oluşturulan modelin, bilinen veriler ile eğitilmesi sağlanmalıdır. Eğitim sırasında karar ağacı doğru cevabı üretecek olan algoritmayı oluşturacaktır. Geliştirilen sınıflandırma algoritması ile verileri inceleyecek karar ağacı oluşturulmaktadır. İkinci adımda sınıflandırma yapılmaktadır. Bu adımda test verileri ile sınıflandırma kurallarının ve karar ağaçlarının doğru cevap üretme kabiliyetleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Üretilen cevabın doğruluk oranı kabul edilebilir sınırın üzerinde ise kurallar sınıflandırma algoritması olarak yeni veriler üzerinde kullanılabilir (Özekes, 2003).

Test verilerinin doğruluğunun ortaya konulması için test verisindeki tüm sınıfların, yapılan doğru sınıflandırmalara oranı olarak hesaplanmaktadır. Yapılan her testte bilinen sınıf ile tahmin edilen sınıf karşılaştırılmaktadır (Özekes, 2003).

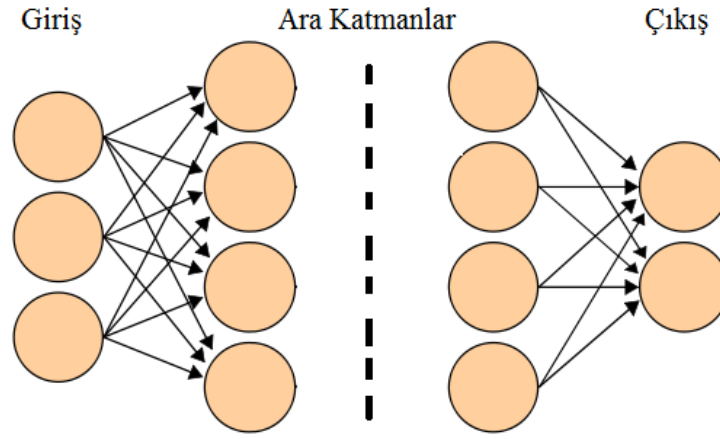
Test verileri ile kabul edilebilir sınırlarda doğruluk oranına sahip olan model, sınıflandırılmamış yeni veri kümelerine uygulanarak, anlamsız veri yığınlarından anlam ifade eden sonuçlar üretilmektedir.

5.3.3.2 Yapay Sinir Ağları

Temel olarak insan beyninin öğrenme yapısı baz alınarak oluşturulmuş bir karar verme mekanizmasıdır. Yeni bilgilerin türetilmesi, veri yığınlarında bilgilerin çıkarılması gibi harici bir karar merciiine bağımlı olmadan öğrenme ve cevap üretme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilinen programlama dilleri veya hesaplama teknikleri ile çözümlenmesi zor olan problemlere cevap üreten bir bilgi işleme tekniğidir (Albayrak, 2008) (Öztemel, 2003). Yapısal olarak incelendiğinde biyolojik olarak insan beynini taklit eden bir bilgisayar yazılımı olarak karşımıza çıkmaktadır (Albayrak, 2008) (Elmas, 2003).

Yapay sinir ağları, birbirine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel çalışabilen yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Bu yapay sinir ağı hücrelerinde işlemler gerçekleşmektedir. Bu hücreler ile yapay sinir ağı modeli birbirine bağlanmaktadır. Hücrelerde ve

bağlantılarında bir değer bulunmaktadır. Bu değerler kurulan modelin hafızasını tanımlamaktadır. Yapısal olarak dağıtık bir hafıza görünümü elde edilmektedir. Hücrelerin veri bağlantılarının oluşturduğu bu hiyerarşik yapı yapay sinir ağı adı verilmektedir.



Şekil 5-3 Yapay sinir ağı yapısı

Şekil 5-3’de verildiği gibi yapay sinir ağlarının giriş ve çıkışları vardır. Bu giriş çıkışların arasında gerektiği kadar katman var olabilmektedir. Giriş ve çıkış sayısındaki sınırlama bilgisayarların kapasitelerine bağlı olarak tespit edilmektedir.

Yapay sinir ağı algoritmaları sayısal veriler üzerinde çalışmaktadır. Tüm giriş verileri sayısal olarak verildikten sonra eğitim ve test verileri ile oluşturulmuş olan yapay sinir ağı modeli uygun cevapları üretecektir.

5.3.3.3 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma tesadüfi arama tekniklerini kullanarak herhangi bir probleme çözüm üretmeye çalışan, kodlama esasına dayalı bir arama tekniğidir. Çeşitli uygulama alanlarında doğru seçilmiş uygun parametreler ile doğru sonuçlara çok yakın cevaplar üretmektedir. Genetik algoritmalar Darwin’in doğal seçim prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem ile doğal sistemlere uyum sağlayan yapay sistemler oluşturmaktadır (Alpaydın, 2000).

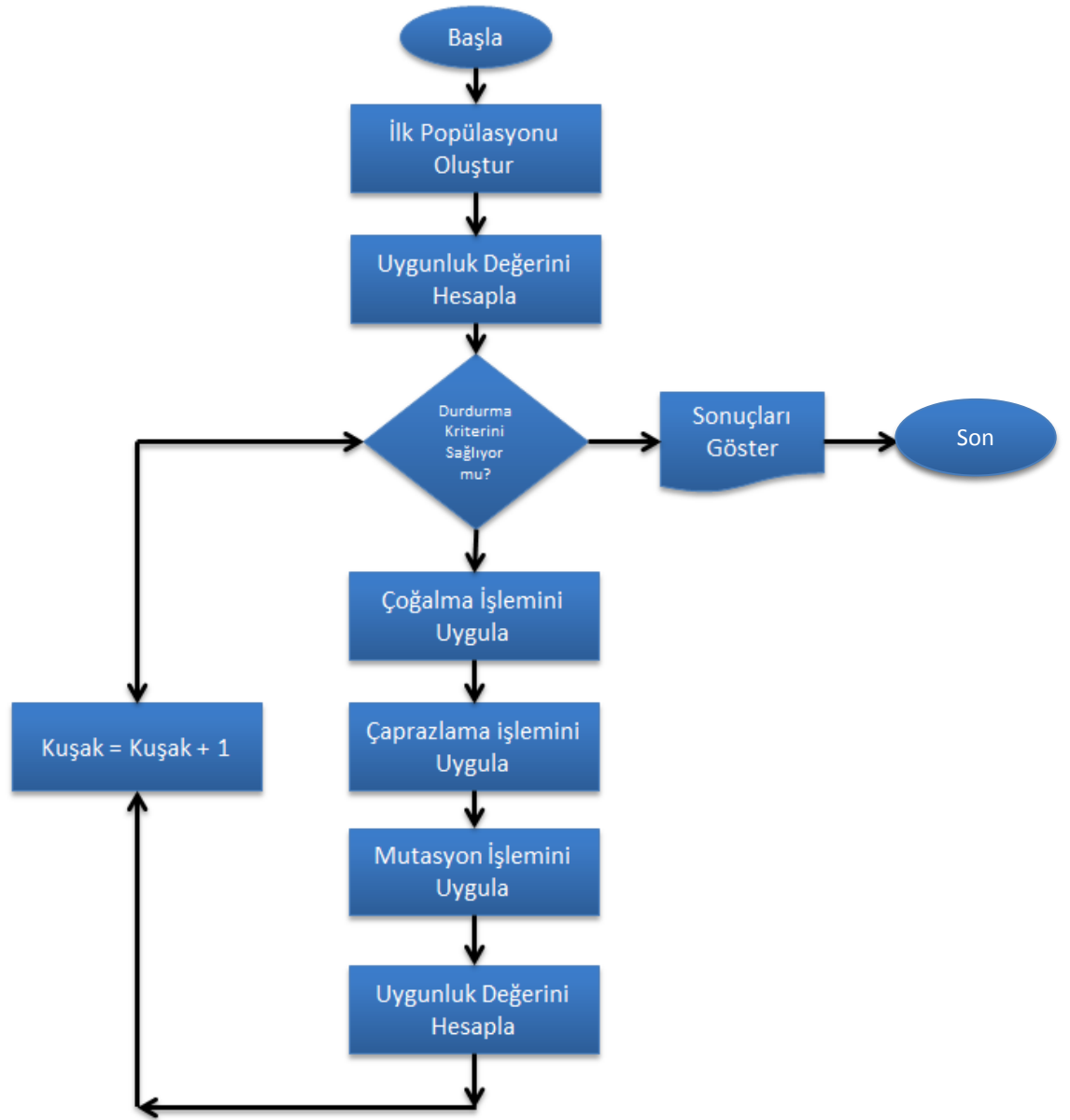
Genetik algoritma ilk olarak popülasyon adı verilen bir çözüm kümesi ile başlatılmaktadır. Her yeni popülasyondan, bir önceki nesilden daha iyi olması

beklenmektedir. Evrim süreci tamamlandığında bağımlılık kuralları ve sınıf modelleri ortaya konmuş olacaktır (Albayrak, 2008).

Genetik algoritmaların bir problemin çözümde kullanılması istendiği takdirde, aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmelidir (Albayrak, 2008).

1. Aranan veri kümesini tarif eden bütün muhtemel çözümler, bir dizi halinde kodlanacaktır. Her bir dizi, arama veri kümesinde belirli bir bölgeyi ifade etmektedir.
2. Genellikle rastgele bir çözüm kümesi oluşturulmaktadır. Bu küme başlangıçta kullanılacak olan popülasyonu tarif etmektedir.
3. Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır; bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini göstermektedir.
4. Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastgele olarak seçilip üreme işlemi gerçekleştirilmektedir.
5. Üreme işleminde çeşitli genetik operatörler kullanılabilmektedir.

Şekil 5-4’de genetik algoritma ile kurulmuş olan tahmin modelleri uygun kriterlere ulaşana kadar rastgele olarak oluşturduğu popülasyonlardan doğru veri kümesine ulaşmaya çalışması gösterilmiştir.



Şekil 5-4 Genetik algoritmanın işlem adımları

5.3.3.4 Bellek Temelli Nedenleme

Örnek tabanlı bu yöntem istatistikte 1950’li yıllarda ortaya atılmasına rağmen dönemin teknolojileri ile üretilen bilgisayarlarda, hesaplama ve bellek yetersizliklerinden dolayı kullanılamamıştır. Günümüz teknolojisi ile üretilen bilgisayarlar ile bu yöntem kullanılabilir olmuştur.

Temel yaklaşım, sınıflandırılmak istenen örneğe en yakın örnekleri bulmak olarak açıklanabilir (Albayrak, 2008). İşlem adımları;

1. Bütün örnekler n -boyutlu uzayda bir noktaya karşı düşürülür.
2. Nesneler arasındaki uzaklık belirlenir.
3. Öğrenilen fonksiyon ayrık değerli veya gerçel değerli olabilir.
4. Ayrık değerli fonksiyonlarda k komşu algoritması X_q örneğine en yakın k öğrenme örneğinde en çok görülen sınıf değerini verir.
5. Sürekli değerli fonksiyonlarda en yakın k öğrenme örneğinin ortalaması alınır.

şeklinde sıralanabilir.

5.3.3.5 Regresyon Analizi

Bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilerin matematiksel fonksiyonlar ile ifade edilmesi yöntemine regresyon analizi denilmektedir. Fonksiyon regresyon denklemi ile verilmektedir. Bu denklem vasıtasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi kuran parametrelerin değerleri tahmin edilmektedir (Albayrak, 2008).

Regresyon analizi (Albayrak, 2008);

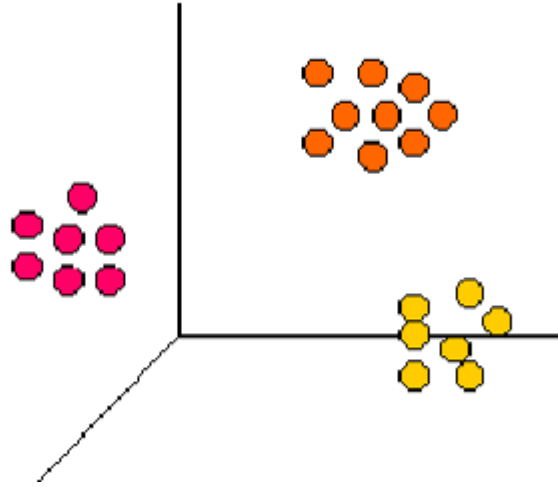
- Bağımsız değişkenlerin sayısına göre;
 - Basit regresyon analizi
 - Çoklu regresyon analizi
- Fonksiyon tipine göre;
 - Doğrusal regresyon analizi,
 - Doğrusal olmayan regresyon analizi,
- Verilerin kaynağına göre;
 - Ana kütle verileriyle regresyon analizi,
 - Örnek verileriyle regresyon analizi,

olarak 3 grupta toplanmaktadır.

5.3.4 Kümeleme Analizi

Kümeleme işlemi, birbirine benzeyen nesnelerin aynı grupta toplanmasıdır. Bu modelde en büyük etken, hangi kriterlere göre kümeleme yapılacağıdır. İlk defa 1939’da Tyron tarafından kümeleme analizi üzerine çalışma yapılmıştır (Baysal, 2008).

Kümeleme analizi, sınıflandırma yapılmamış verilerle kullanılmaktadır. Bu nedenle eğitim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kümeleme analizinin amacı verilerin gruplandırılmasını sağlayarak eğitim verilerine ihtiyaç duyulmadan sınıfların üretilmesini sağlamaktır. Analiz edilen veriler kümelenerek sınıflar oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bu sınıfların içerisindeki veriler, sınıflar içerisinde en yüksek benzerliğe, sınıflar arasında ise en uzak benzerliğe sahip olacak şekilde hazırlanmaktadır. Kurallar, her bir kümenin sınıf olarak tanımlanması ile elde edilmektedir. Şekil 5-5’de kümelenmiş veri yığını örneği görülmektedir (Oğur, 2004).



Şekil 5-5 Kümelenmiş veri yığını

Verilerin ikili olarak, tanımlı benzerlik kuralları ile analiz edilmesi ve benzerlik derecesinin yüksek olması durumunda aynı, düşük olması durumunda farklı sınıflarda gruplanması sağlanmaktadır (Baysal, 2008). Verilen veri setinde n adet veri (örnek) m boyut (nitelik) uyarınca k adet kümeye ayrılmaktadır. Bu kümeleri belirlemede anahtar rol “benzerlik” olarak belirtilmektedir (Baysal, 2008).

Yapılan araştırmalarda ortaya koyulmuş pek çok kümeleme algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar arasından hangi kümeleme algoritmasının kullanılacağı kararı, veri tipine ve amaca bağlıdır. Genel olarak başlıca kümeleme yöntemleri;

1. Bölme yöntemleri,
2. Hiyerarşik yöntemler,
3. Yoğunluk tabanlı yöntemler,
4. Izgara tabanlı yöntemler,
5. Model tabanlı yöntemler.

şeklinde sıralanabilir (Albayrak, 2008).

5.3.5 Ayırık Değer Analizi

Bir veri yığınında, genel veri yapısı ile paralel olmayan bazı veri grupları veya veriler ile karşılaşılabilmektedir. Bu veriler çoğu analiz yönteminde gürültü veya hatalı veri olarak analiz dışı bırakılmaktadır. Bu tip aykırı değerlerin analizine aykırı değer analizi ismi verilmiştir. İstatistiksel yöntemler ile veri dağılım modelleri oluşturulmaktadır (Oğur, 2004).

Temel olarak kullanılan istatistiksel ölçüleri kullanmak yerine, sapma temelli yöntemler ile ayrılmış sınıf içindeki nesnelerin temel özelliklerinin farklarını inceleyerek aykırı değerleri teşhis edilebilmektedir (Oğur, 2004).

5.3.6 Değişim Analizi

Davranışı zamanla değişen verilerin eğilimlerini tanımlamak için kullanılan model kurma yöntemidir. Verinin zamana bağımlı olarak değişiminin birliktelik, sınıflandırma ve kümelenmesi analizini içeren bir yöntemdir. Ayrıca dizi ya da periyodiklik, örüntü eşleme ve benzerlik-temelli veri analizini kapsamaktadır (Oğur, 2004).

5.4 Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler

Veri madenciliği uygulamalarında verilerle doğru çalışan sistemler üzerinde oluşan büyük hacimli, eksik, gürültülü, BOş (NULL) değerli, artık, dinamik verilerle yanlış

alışan yapılar oluşabilmektedir. Bu problemler veri yığınları üzerinde yapılan analizler ile ortaya çıkarılan anlamlı bilgilerin yanlış sonuçlar üretmesi sonucunu doğurmaktadır.

5.4.1 Veri Tabanı Boyutu

Verilerin işlenmek üzere saklandıkları bu yapılar, çok sayıda nitelik ve kaydı saklayabilen bir özelliğe sahiptirler. Ancak bu yapısal veri boyutu analiz esnasında çalışılan işlemlerin gecikmesi veya yapılması sonuçları ile karşı karşıya kalınmasına sebep olabilmektedir. Veri tabanında tutulan verilerin boyutu iki boyutlu olarak genişlemektedir (Aydoğan, 2004) (Aydın, 2006).

- **Yatay Boyut:** Nesnelerin özellik sayıları ile genişlemektedir.
- **Dikey Boyut:** Nesnelerdeki kayıt sayısı ile genişlemektedir.

Meydana getirilen pek çok algoritmanın, çok büyük boyutlardaki çalışabilecek şekilde geliştirilmesi sağlanmalıdır (Aydoğan, 2004).

Bu yüksek veri yığını boyutundan kaynaklanan sorunların çözümü için uygulanacak bir çözüm yöntemi bulunmaktadır. Örnekleme kümesinin yatay ve dikey boyutta indirgenmesi bu yöntemlerden biridir.

- **Yatay indirgeme:** Nitelikli değerlerde yapılan genelleme ile aynı olan özelliklerin çıkarılması
- **Dikey indirgeme:** Gereksiz kayıtların azaltılması
İşlemleri olarak tanımlanır.

5.4.2 Gürültü Verileri

Veri elde eden sistemlerin üretmiş olduğu bilgi, dış kaynaklı etkiler ile olması gerekenden farklı olabilmektedir. Bu gibi verileri faydasız hatta yanıltıcı gürültü verileri olarak anlamlandırılmaktadır. Bu hatalar, ölçümlerden kaynaklanan hatalar da olabilmektedir. Gürültü verisi problemi sonuçları kritik bir şekilde etkileyebilecek önemli bir problemdir. Kurulan modeller olası gürültü verilerine karşı daha az duyarlı olarak geliştirilmelidir (Özby, 2007).

Kurulacak modelin gürültülü veriye daha az duyarlı olmasından kasıt, gürültülü verilerin sistem tarafından tanınması ve ihmal edilmesidir. Gürültünün etkisini azaltmak

için istatistiksel yöntemler kullanmıştır. Sınıflama üzerine yaptığı çalışmalardan tanınan Quinlan'nın gürültünün sınıflama üzerine etkileri konusunda yaptığı çalışmada; etiketli öğrenmede etiket üzerindeki gürültünün öğrenme algoritmasının performansını doğrudan etkileyerek düşürdüğünü tespit etmiştir (Özekes, 2003) (Özbay, 2007). Tüme varımsal karar ağaçlarında uygulanan metotlar bağlamında gürültülü verinin yol açtığı problemler araştırılmıştır (Özbay, 2007) (Aydın, 2006).

5.4.3 “NULL” Değerleri

Veri yığnında bulunan bilginin tanımladığı herhangi bir kayıt eğer boş ise “NULL” değere sahip bir niteliktir. Herhangi bir model üzerinde kurulacak bir ilişkide kullanılacak verilerin aynı sayıda niteliğe ve “NULL” olsa bile aynı sayıda nitelik değerine sahip olması gerekmektedir (Aydoğan, 2004).

5.4.4 Eksik Veri

Veri madenciliğinde problem ve çözüm arasında ilişki kurulabilmesini sağlamak için veri yığnında tüm boyutların eksiksiz olması gerekmektedir. Eksiklikten kasıt verilerin niteliklerin tanımlayan sütunların ve örnek kümesinin eksiksiz olmasıdır. Bu eksiklikler aşağıdaki şekilde ayrıntılandırılabilir (Aydın, 2006) (Aydoğan, 2004);

- **Yatay boyutta:** Örnek kümesindeki verilerin niteliklerinin yatay sütunlar ile belirtildiği ifade edilmiştir. Yatay boyutta oluşan eksiklikler verilerin tanımlanmasını ve problemin anlamlandırılması konusunda yardımcı olmasından öte yanıltıcı sonuçlarında oluşmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla yatay boyuttaki eksiklik, doğru sonuca ulaşılmasının ötesinde sonucun hatalı olmasını sağlayacak derecede önemli bir veri madenciliği problemidir.
- **Dikey boyutta:** Dikey boyuttaki eksiklik örnekleme kümesindeki kayıtların eksik olmasıdır. Örnekleme kümesinin yeterli seviyede bilgi barındırmaması sonucunu doğurur. Çok sayıdaki bilgi, çok sayıdaki örnekler ile ifade edilebilir. Örnek sayısını artması gerçek hayatta var olan bir örüntü kaçırılmasına sebep olur.

5.4.5 Dinamik Veri

Veri yığını içerisinde barındırılan bilginin sürekli değiştiği veri tabanlarıdır. Bunlara örnek kurumsal çevrim-içi veri tabanları gösterilebilir. Veri tabanındaki bilgilerin sürekli olarak değişmesi, çözüm sürecine zarar verecek bazı durumları ortaya koyabilmektedir; Bunlardan bazıları (Aydoğan, 2004);

- Ortaya çıkan Veri Madenciliği örüntülerinin sürekli değişim halinde olan verilerden hangisini ifade ettiğinin tespitinin zorluğu açıktır. Anlamlandırma işlemi başladığı ve bittiği süre içerisinde kullanılan verilerin değişmesi üretilen cevabın doğruluğunu şüpheye düşürmektedir.
- Veri madenciliği algoritması kurulurken işlem sırasında üzerinde çalışan verilerin başka bir uygulama tarafından değiştirilmesi ile karşılaşılabilir. Bu durum kurulan algoritmanın hatalı olması sonucunu doğurmaktadır.
- Hem uygulamanın çalışması hem de uygulamanın ürettiği veriler üzerinde veri madenciliği algoritmalarının kurulmasına çalışılması veri tabanında olası gecikmelere ve düşük performans durumlarına sebep olabilmektedir.

5.4.6 Sınırlı Bilgi

Veri madenciliğinde doğru cevap üretme çok sayıda bilgi içerisinde kurulmuş olan modeller ve kurallara bağlıdır. Kurulmuş modellerden elde edilen kuralların başarımı çok sayıda veri ile yapılan çalışma ile sağlanabilmektedir. Sınırlı sayıdaki bilgi, önemli bir özelliğin kurallara yansıtılamaması sonucunu doğurabilmektedir (Albayrak, 2008).

5.5 Veri Madenciliğinin Uygulama Alanları

Veri madenciliği sağladığı uygulama kolaylıklarından ötürü, insan hayatının çeşitli alanlarında pratiğe geçmiştir. Sağlık sektörü, bankacılık sektörü, mühendislik problemlerinin çözümü ve işletme alanlarında çok sayıda çalışan uygulama örnekleri bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

- **İş ve elektronik ticaret alanında:** Geri ofis, ön ofis ve ağ uygulamaları iş süreçleri sırasında geniş çaplarda veri üretirler. Bu veriyi karar verme

mekanizmalarında efektif olarak kullanmak, ilgili ticari kuruluşun temel yapı taşlarından olmalıdır.

- **Bilimsel mühendislik alanında:** Günümüzde bilimsel veriler, iş sahası verilerinden daha da karmaşık hale gelmişlerdir. Buna ek olarak, bilim adamları ve mühendisler uygulama sahası bilgilerini kullanarak simülasyon ve sistem kullanımının artırılması hedefindedirler.
- **Sağlık alanında:** İnsanların yaşam kalitesinin artırılması için sağlık alanında yoğun araştırmalar, deneyler ve yeni yeni çalışmalar yapılmaktadır. Elde edilen bilgi birikimi ise kontrol edilemez halde büyümektedir. Veri Madenciliği yöntemleri ile genetik bilimi, tarım gibi gelecekte hayati önem arz eden sorunlara çözüm üretecek alanlarda anlamlı bir bilgi tabanı oluşturulmaktadır. Buradaki amaç deneysel sonuçların anlamlandırılmasıdır.
- **Web alanında:** İnternet ve web üzerindeki veriler hem hacim hem de karmaşıklık olarak hızla artmaktadır. Sadece düz metin ve resimden başka akan (streaming) ve nümerik veriler de web verileri arasında yer almaktadır.
- **Pazarlama alanında:** Satışı yapılan ürünlere bağlı olarak müşterilerin örüntülerinin belirlenmesi, müşterilerin demografik özellikleri arasındaki bağlantıların bulunması, posta kampanyalarında cevap verme oranının artırılması, mevcut müşterilerin elde tutulması, yeni müşterilerin kazanılması, pazar sepeti analizi (Market Basket Analysis), müşteri ilişkileri yönetimi (Customer Relationship Management), müşteri değerlendirme (Customer Value Analysis), satış tahmini (Sales Forecasting) alanlarında veri madenciliği kullanılmaktadır (Arslan, 2008).
- **Bankacılık alanında:** Finans alanında elde edilen verilerin ışığında oluşturulmuş olan göstergeler arasında gizli ilişkilerin bulunması, kredi kartı dolandırıcılıklarının tespiti, kredi kartı harcamalarına göre müşteri gruplarının belirlenmesi, kredi taleplerinin değerlendirilmesi alanlarında veri madenciliği kullanılmaktadır (Arslan, 2008).

- **Sigortacılık alanında:** Yeni poliçe talep edecek müşterilerin tahmin edilmesi, sigorta dolandırıcılıklarının tespiti, riskli müşteri örüntülerinin belirlenmesi alanlarında veri madenciliği kullanılmaktadır.
- **Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri alanında:** Yerel iklim ve yağış haritaların oluşturulması ve hava tahminlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Yeni çalışma alanı olarak ta yerküre-iyonküre dalga kılavuzlarında ilerleyen elektromanyetik dalgaların üzerinde taşıdıkları bilgilerin bazı tahmin uygulamalarında kullanılması gösterilebilmektedir.

5.6 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 tez çalışmasında veri madenciliğinden faydalanılması düşünülmektedir.

VLF verilerinin üzerinde, iletim ortamından kaynaklanan bazı kayıplar ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu kayıpların bazılarının yerküre hareketlilikleri yani depremler ile alakalı olduğu belirtilmiştir (Molchanov vd., 1998) (Molchanov, 2001). Mevcut durumda, VLF işaretleri üzerindeki kayıplardan anlamlı bilgilerin çıkarılması çok sayıdaki 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 sayıdaki insan kayıpları ile sonuçlanmaktadır. Gerçekleştirilecek algoritmanın üretmiş olduğu sonuçlar hayati anlam taşıyacaktır. Ancak üretilen tüm sonuçların doğru olamayacağı gerçeği, olası hatalı sonuçların oluşturacağı kaosun da hesap edilmesi gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

6 VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLEN TAHMİN ALGORİTMASI

6.1 VLF Veri Kayıt Sistemi

VLF işaretlerinin atmosfer ortamında aktarılmasını sağlayan sistem birkaç bileşenden oluşmaktadır. Verici sistem tarafından oluşturulan VLF işaretlerin atmosfer ortamında iletdikten sonra alıcı tarafta tekrar elde edilmesi şeklinde tanımlanabilecek olan yapının bileşenleri olarak aşağıdaki maddelerden bahsedilebilmektedir;

- VLF Verici sistemi
- VLF Alıcı sistemi
- VLF Anteni
- Ön yükseltici
- Hat alıcısı
- GPS anteni
- Kayıt yazılımı

VLF veri kayıt sistemi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde kurulu bulunmaktadır. VLF işaretlerinin iletim ortamı olan iyonkürede 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. Gezegen Araştırmaları, İyonküre ve Magnetosfer Fiziği, Radar ve Radyo Uzaktan Algılama Sistemleri, Kablosuz İletişim, Optik İletişim, DSL İletişim, İşaret İşleme konu başlıkları altında çalışmalar yapmaktadır. Bu grup koordinasyonunda çalışan dünyanın çeşitli noktalarında alıcı ve verici istasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonların üretmiş olduğu VLF işaretlerinin tamamı Star Lab.

tarafından internet üzerinden tüm dünyanın kullanımına sunulmuştur (URL-15, 2011). Kayıt ortamlarında elde edilen veriler bir dosya paylaşım sistemi ile kullanılabilir.

Fırat Üniversitesinde kurulu bulunan VLF işaret kayıt sistemi atmosferde gerçekleşen olayların takibi amacını gütmektedir. Bu sistem vasıtasıyla kaydedilen veriler aynı zamanda tezde gerçekleştirilecek çalışma konusu olan deprem tahmin algoritmaları için uygun bir yapıya sahiptir. Elazığ istasyonunda kaydedilen VLF işaret verisi ve diğer istasyonlardan elde edilen veriler vasıtasıyla tahmin algoritmalarının testleri yapılmaktadır. Stanford Üniversitesi ve koordine olduğu istasyonlar, deprem tahmin yöntemleri ve algoritma geliştirme çalışmalarına kaynak teşkil eden bir veri kaynağı olarak da kullanılmaktadır.

6.1.1 VLF Verici Sistemi

VLF işaretlerinin uzun dalga boylarına sahip olması itibari ile verici sistemleri yer-iyon küre dalga kılavuzu içerisinde yayılmaktadır. Bu hat üzerindeki kayıpları yaklaşık 2-3 dB/Mn arasında olduğu görülmektedir. Vericilerden yayılan işaretlerin frekans özelliklerinden dolayı kullanım alanları askeri, deniz altı ve deniz üzeri iletişim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. VLF yayınının gerçekleştirilebilmesi için 100-1000 kW çıkış gücüne sahip bir sistem için metrelerce uzunlukta büyük tek kutuplu antenlere ihtiyaç vardır.

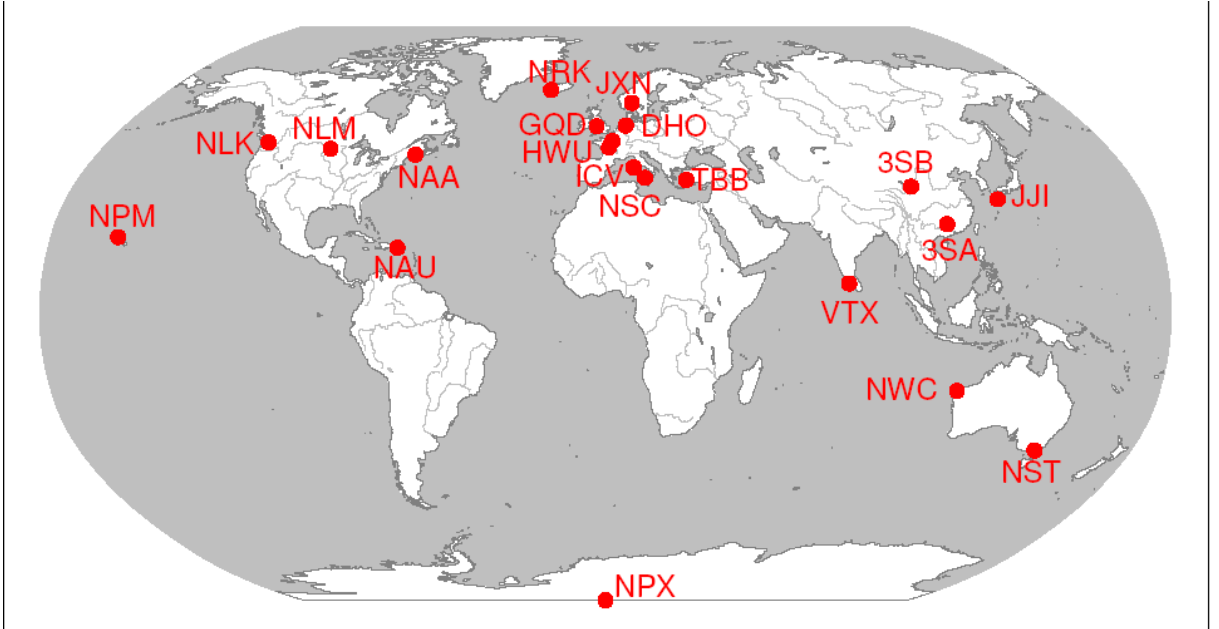
VLF veri kayıt sisteminin kullanmış olduğu verilerin tamamını üreten vericiler, minimum-kaymalı sayısal modlama modülasyon tekniğini kullanmaktadır. Şekil 6-1’ de örnek bir VLF vericisi gösterilmektedir.

VLF veri kayıt sisteminin kayıt altına almış olduğu işaretlerin dünya üzerinde üretildiği birçok VLF vericileri bulunmaktadır. Bu vericilerin Şekil 6-2’de dünya üzerindeki konumları ve Tablo 6-1’de ise listesi verilmiştir.

VLF vericilerinin göndermiş olduğu veriler üzerinde verici ve işareti tanımlayan bazı bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler detaylı bir şekilde sonraki başlıklarda anlatılacaktır.



Şekil 6-1 İngiltere Anthorn'da VLF vericisi



Şekil 6-2 Verici konumları

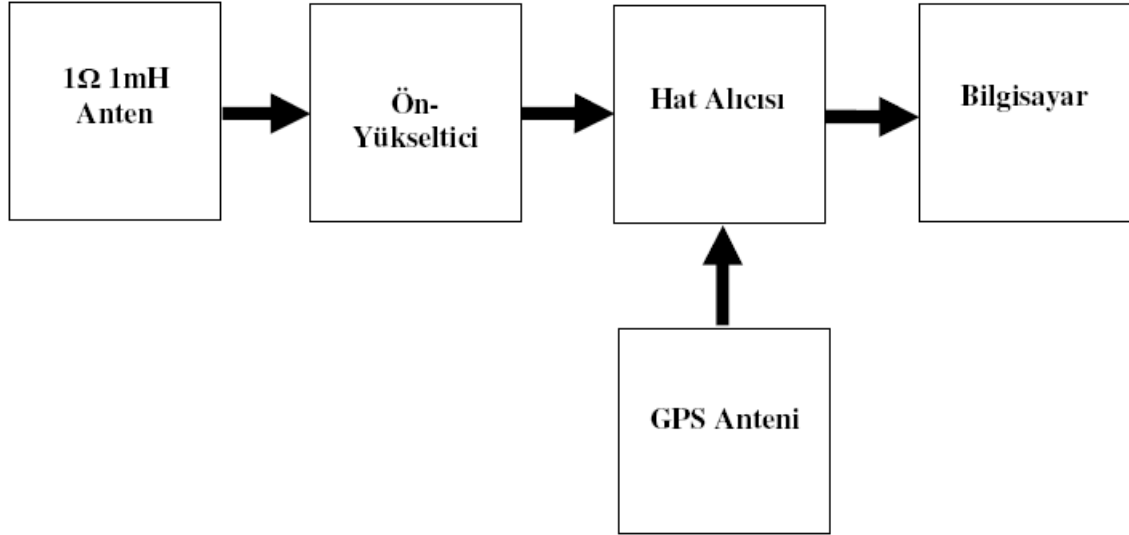
Tablo 6-1 Dünya üzerindeki VLF vericilerinin listesi

ENLEM	BOYLAM	FREKANS	KOD	Y	MOD	BAUD	kW
55.760	84.450	Alternatif		RA1	Novosibirsk, Russia	0	500
45.403	38.158	Alternatif		RA2	Krasnodar, Russia	0	500
50.070	135.600	Alternatif		RA3	Komsomolsk-na-Amur, Russia	0	500
59.910	10.520	16400	Hz	JXN	Kolsas, Norway (NATO)	100	45
8.387	77.753	18200	Hz	VTX	Katabomman, India	200	
46.713	1.245	18300	Hz	HWU	Le Blanc, France (NATO)	200	400
-38.481	146.935	18600	Hz	NST	Woodside, Australia (USA)	100	
52.911	-3.280	19600	Hz	GQD	Anthorn, Great Britain (NATO)	100	100
-21.816	114.166	19800	Hz	NWC	North West Cape, Australia(USA)	200	1000
40.923	9.731	20270	Hz	ICV	Isola di Tavolara, Italy (NATO)	200	20
39.600	103.330	20600	Hz	3SB	Datong, China	225	
48.544	2.576	20900	Hz	HWV	St Assise, France	200	400
25.030	111.670	21100	Hz	3SA	Changde, China	225	
21.420	-158.154	21400	Hz	NPM	Lualualei, Hawaii, USA	200	424
46.713	1.245	21750	Hz	HWU	Le Blanc, France (NATO)	200	400
52.911	-3.280	22100	Hz	GQD	Anthorn, Great Britain (NATO)	100	200
32.040	130.810	22200	Hz	JJI	Ebino, Japan	225	200
46.713	1.245	22600	Hz	HWU	Le Blanc, France (NATO)	200	400
53.079	7.614	23400	Hz	DHO	Rhauderfehn, Germany (NATO)	200	800
44.646	-67.281	24000	Hz	NAA	Cutler, Maine, USA	200	1000
48.203	-121.917	24800	Hz	NLK	Jim Creek, Washington, USA	200	192
46.366	-98.335	25200	Hz	NLM	LaMoure, North Dakota USA	200	
37.430	27.550	26700	Hz	TBB	Bafa, Turkey MSK	225	
63.851	-22.459	37500	Hz	NRK	Grindavik, Iceland (USA)	200	
18.399	-67.178	40750	Hz	NAU	Aguada, Puerto Rico (USA)	200	100
38.000	13.500	45900	Hz	NSC	Sicily, Italy (USA)	200	

6.1.2 VLF Alıcı Sistemi

VLF işaretlerinin kayıt altına alınmasını sağlayan alıcı sistemi, anten, ön yükseltici, hat alıcısı, GPS anteni ve kayıttın gerçekleştiği bilgisayardan oluşmaktadır. Bu yapı VLF işaretini elde ettikten sonra sayısal olarak kayıt altına almaktadır. Ortamdaki elektromanyetik alan değişimlerinden oluşan elektriksel işaretler, ön yükseltici tarafından yükseltilmekte ve gürültüden arındırılmaktadır. Elde edilen işaret hat alıcısına iletilmektedir. Hat alıcısında filtrelenen işaret GPS işareti ile senkronize edilmektedir. İşaret hat alıcısından bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bu bilgisayarda bulunan işleme

yazılımları vasıtasıyla ham olarak kaydedilmektedir. VLF alıcı sisteminin prensip şeması Şekil 6-3’de gösterilmektedir.



Şekil 6-3 VLF alıcı sisteminin prensip şeması

Tablo 6-2 Alıcı listesi

Ülke	Şehir	Kurum	Kurulum Yılı
Hindistan	Allahabad	Indian Institute of Geomagnetism	2007
Sırbistan	Belgrat	Belgrade Academy of Sciences	2008
İrlanda	Dublin	Trinity College	2006
Türkiye	Elazığ	Fırat Üniversitesi	2004
ABD	Goddard	Goddard Space Flight Center	2001
Yunanistan	Iraklio	University of Iraklio	2001
Hindistan	Kolkata	Centre for Space Physics	2005
Fransa	Nancay	Centre National d'Etudes Spatiales	2001
Fas	Rabat	Ecole Mohammadia d'Ingenieurs	2006
Azerbaycan	Samahky	Samahky Astronomical Observatory	2010
Libya	Sebha	Sebha University	2007
Malezya	Selandor	Universiti Kebangsaan Malaysia	2009
ABD	Stanford	Wilcox Solar Observatory	2001
Fiji	Suva	University of South Pacific	2009
Polonya	Swider	Polish Academy of Sciences	2007
Özbekistan	Taşkent	Ulugh Beg Astronomical Institute	2008
İsrail	Tel Aviv	Tel Aviv University	2005
Tunus	Tunus	Tunis El Manar LSAMA	2006

Dünyanın çeşitli yerlerinde kurulu alıcı sistemleri bulunmaktadır. Fırat Üniversitesinde kurulu olan alıcı sistemi 2004 yılında ilk kurulan alıcı sistemlerindendir. Bunun dışında Stanford Üniversitesi ile koordinasyonla çalışan, 2011 Aralık ayı itibar ile 17 alıcı noktası vardır. Bunlar Tablo 6-2’de listelenmiştir.

6.1.2.1 VLF Anteni

Antenlerin boyutları artıkça hassasiyetleri de artmaktadır. Manyetik alan değişimlerinin anten üzerinde küçük bir akım oluşturmasını sağlamak için anteni oluşturan tel çevrim halinde sarılmıştır. Antenler ile ilgili en önemli sınır kablo dirençleridir. Direnç 1Ω , indüktans ise 1mH değerini aşmamalıdır (Canyılmaz, 2008).

Alıcı antenlerin kurulum yerleri de önemlidir. Genel olarak gürültü oluşturabilecek kaynaklardan uzak bir yer seçilmesi gerekmektedir. Tüm yönlerden gelen işaretlerin kayıt altına alınabilmesi için iki yönde anten kurulması gerekmektedir (Canyılmaz, 2008). Bu antenler Kuzey/Güney (N/S) ve Doğu/Batı (E/W) yönlerinden gelen VLF işaretlerinin bileşenlerini kayıt altına alacaktır.

Elektromanyetik alan değişimlerinin oluşturacağı elektromotor kuvvet ile anteni oluşturan manyetik kablo çevrimleri üzerinde bir akım oluşmaktadır. Bu akım antenden ön yükselticiye aktarıldıktan sonra hat alıcısına gönderilmektedir.

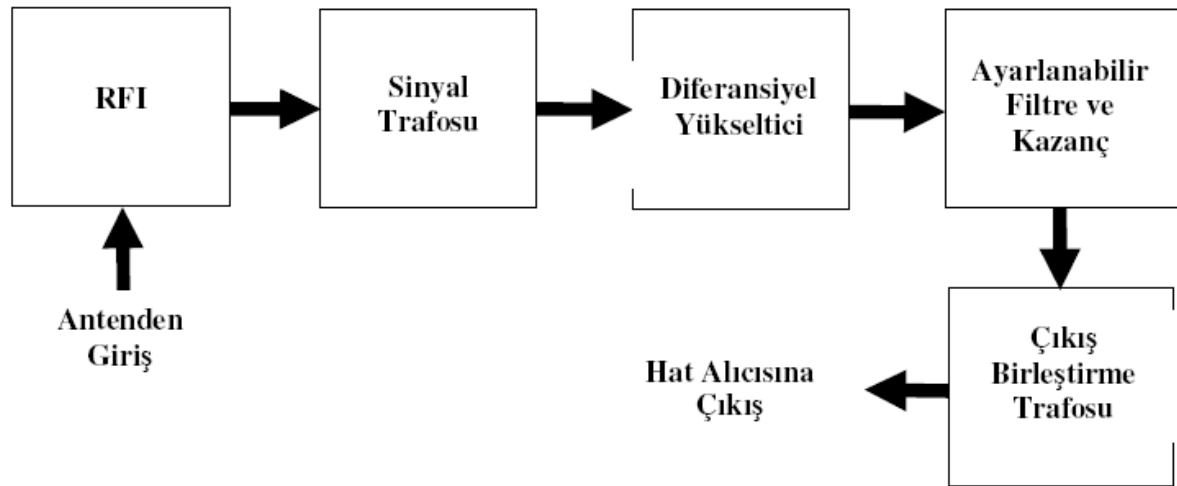


Şekil 6-4 Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi çatısında kurulu alıcı anten

Şekil 6-4’de Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi çatısına kurulan alıcı anten görülmektedir. Bu anten 1.69 m^2 12 sarımlı ve taban uzunluğu 2.6 m olan ikizkenar üçgen antendir.

6.1.2.2 Ön Yükseltici

Ana yükseltme, ayrı transistörler ile diferansiyel yükselticiden oluşturulmuştur. Bu katmandan sonra işlemsel yükseltici işareti tamponlamakta ve düşük frekans cevap kesimini ve kazancı ayarlamaktadır. Üzerinde 9 kHz’e ayarlı bir filtre bulunmaktadır. Ön yükselticide bulunan LC alçak geçiren filtreden yapılmış bir bastırma devresi ile yüksek frekanslı işaretlerin elektronik devreleri etkilemesi engellenmektedir. Ön yükseltici alıcı antene yakın bir konuma yerleştirilerek, işaretin iletim hattında kayıplara uğramasına engel olunmalıdır. Ön yükselticinin çalışma prensibini gösteren blok diyagramı Şekil 6-5’de verilmiştir (Canyılmaz, 2008).



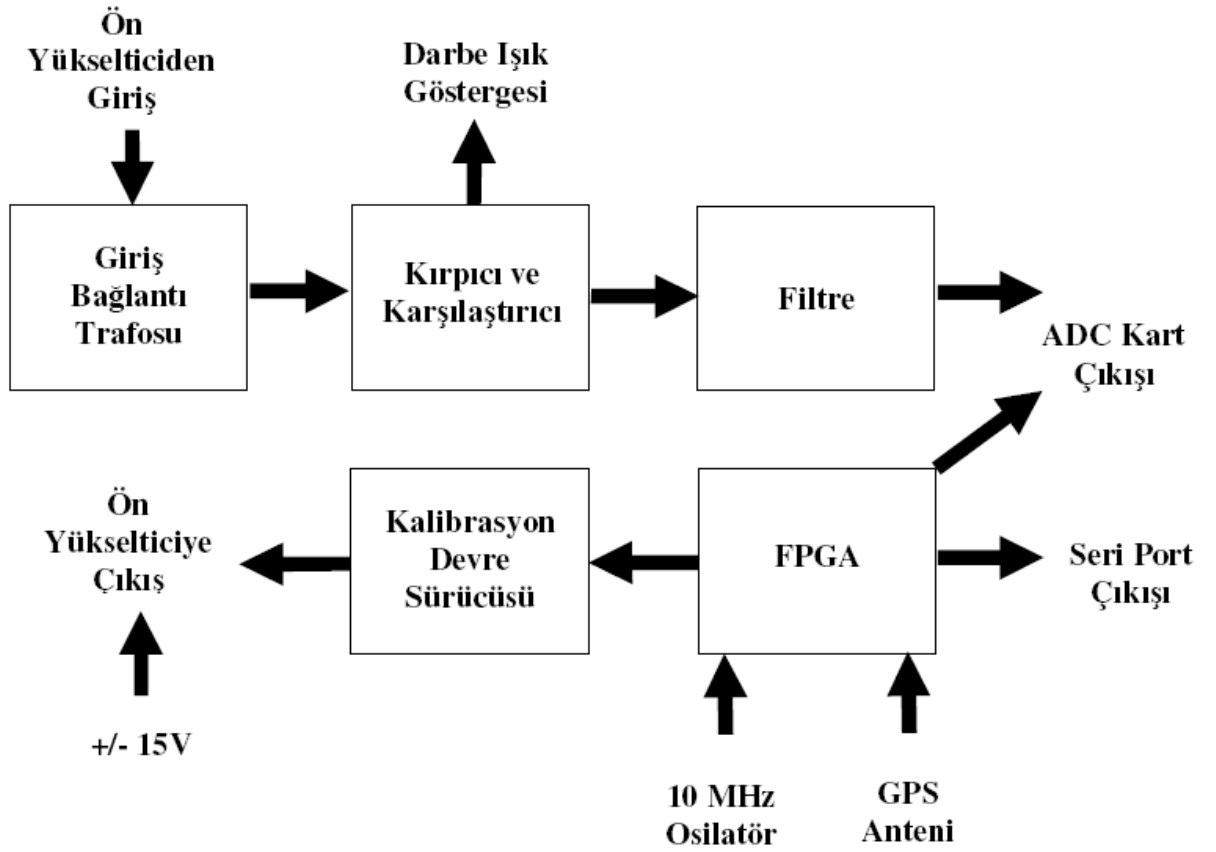
Şekil 6-5 Ön yükseltici çalışma prensibi

6.1.2.3 Hat Alıcısı

Hat alıcısı birçok işlemin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Hat alıcısı içerisinde sayısal kontrol, işaret işleme, GPS yönetimi, Ön-yükselticiye güç sağlanması ve sistem kalibrasyonu yapılmaktadır. Şekil 6-6’da Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi’nde bulunan hat alıcısı ve Şekil 6-7’de bu alıcının prensip şeması gösterilmiştir (Canyılmaz, 2008).



Şekil 6-6 Hat alıcısı



Şekil 6-7 Hat alıcısı prensip şeması

Hat alıcısında örnekleme, GPS bağlantılı işaret ve kesim-ayarlanabilir osilatör kullanılarak yapılmaktadır. Hat alıcısında bulunan programlanabilir giriş düzenleyicisi (FPGA) örnekleme zamanını senkronize etmektedir.

Hat alıcısının üzerinden ön yükselticiye güç sağlanmaktadır. Bu güç hat alıcısına bağlanan 15V 'luk harici beslemeden üretilir. Ana kart üzerinde bulunan FPGA, karttaki ön yükseltici gücü işlemini ve kalibrasyon devrelerini kontrol etmektedir. Hat alıcısı antenden en az 30m uzaklığa yerleştirilmelidir. Böylece antene gelen işaretlerden elektronik devreler etkilenmeyecektir.

6.1.2.4 GPS Anteni

GPS anteni kurulum yerinin seçimi önemlidir. Çalışma mantığında olan uydular ile iletişim, mutlaka gökyüzünü görebileceği bir yerde olması gerekliliğini doğurur. Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü bünyesinde gerçekleştirilen proje kapsamında kurulan sistemde VIC-100 modeli GPS anten kullanılmaktadır. GPS antenin zamanlayıcı kontrol kartı olarak Motorola M12-Zamanlayıcı elektronik kartı kullanılmıştır. Şekil 6-8 'de GPS anteni ve FPGA kartı görülmektedir.



Şekil 6-8 GPS Anteni ve M12-zamanlayıcı kartı

6.1.2.5 Kayıt Yazılımı

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. Bu yazılım anten üzerinden elde edilen işaretlerin bilgisayar ortamına aktarılmış halleri üzerinden işlem yapmaktadır. İşaretler eşzamanlı olarak bilgisayara kaydedilmektedir. Kayıt formatı, MATLAB veri dosyası olarak seçilmiştir. Veriler boyut olarak göz ardı edilmeyecek bir durumdadır. Düzenli olarak tüm kayıtlar DVD ortamlarına aktararak saklanmaktadır. Fırat Üniversitesi'nde yaklaşık olarak 2004 yılından beri kayıt alınmaktadır.

Oluşturulan bu veriler, belirli süreler ile Stanford Üniversitesi'ne aktarılmaktadır. Buradan ise VLF gurubuna açık olan bir web tabanlı platform üzerinden tüm dünyanın kullanımına sunulmaktadır.

Stanford DAQ yazılımının amacı sadece gelen sayısal VLF işaretlerinin MATLAB veri formatında kaydedilmesini sağlamak değil aynı zamanda bu işaretlerin zaman senkronizasyonunu da sağlamaktır. Bu işaret senkronizasyonu, tüm alıcı sistemlerde olduğu gibi üniversitemizde bulunan kayıt sisteminde de evrensel zaman (UT) üzerinden yapılmaktadır. Yerel saat ile evrensel saat arasında Elazığ'da toplam 2 saatlik bir fark bulunmaktadır. Yazılım üzerinde GPS'den alınan konum bilgileri ile beraber tarih, saat ve bağlantılı olduğu GPS uydusunun bilgileri bulunmaktadır.

Bu bilgiler ile birlikte bazı tanımlayıcı bilgiler de işaretler ile birlikte MATLAB veri dosyası olarak kaydedilmektedir. Veriler iki farklı boyutta ve detayda kaydedilmektedir. Bunlar Dar Bant (NarrowBand) ve Geniş Bant (BroadBand) olarak belirtilebilir. Bu farklılık kaydedilen veriye ait olan ayrıntılardan kaynaklanmaktadır.

6.1.2.5.1 Geniş Bant Verileri

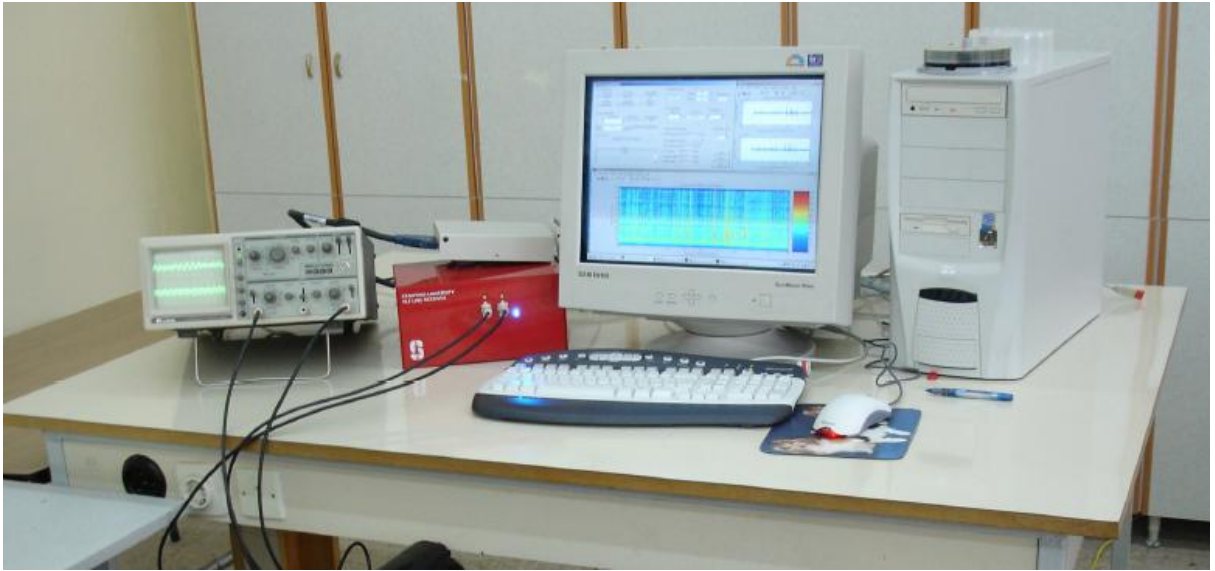
Bu veri kümesi, bilgi boyutu en yüksek olan kayıt yöntemidir. Bu yöntem ile yapılan kayıtlarda her verici için ayrı ayrı saniyede 100.000 veri bulunmaktadır. Her verici için oluşturulan bir günlük dosya yaklaşık 23MB boyutunda olabilmektedir.

6.1.2.5.2 Dar Bant Verileri

Dar bant veri kümesi geniş bant veri kümesine nazaran daha küçük bir boyuta sahiptir. Kayıt yazılımı vasıtasıyla elde edilen işaretler daha düşük bir örnekleme frekansı ile sayısal olarak MATLAB veri dosyasına kaydedilmektedir. Dar bant olarak oluşturulan veriler 4 farklı dosya olarak ayrı ayrı kaydedilmektedir. Bu dosyalardan iki tanesi genlik verilerini barındırmaktadır. Diğer iki tanesi ise faz değişimlerini kaydetmektedir. Her iki yöntemle kaydedilen iki dosyanın her biri farklı örnekleme frekanslarına sahiptirler. Dosyalardan bir tanesi saniyede 50 örnek alırken bir diğeri saniyede 1 örnek almaktadır.

VLF grubunun herkese açık çevirim içi hizmet veren web platformunda, tüm alıcılardan elde edilmiş VLF dar ve geniş bant verileri sunulmaktadır. Fırat Üniversitesi de Stanford Üniversitesine dar ve geniş bant bilgileri gönderilmektedir.

Fırat Üniversitesinde kurulu bulunan sistemde veri kaydı 13:05 UT ‘de başlamaktadır. Kayıt 15 saat boyunca devam ettirilmektedir. Bu kayıt zaman aralıkları her verici için değişebilmektedir. Şekil 6-9’da Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü Elektromanyetik Laboratuvarında kurulu bulunan kayıt sisteminin bir resmi görülmektedir.



Şekil 6-9 Kayıt sistemi

6.1.3 MATLAB Veri Kayıt Formatı ve Değişkenleri

Daha öncede belirtildiği gibi dar bant verileri 4 farklı dosya olarak oluşturulmaktadır. Her bir dosya örnekleme frekansı ve veri içeriği bakımından farklılık göstermektedir. Bu dosyalar;

- *A.MAT
- *B.MAT
- *C.MAT
- *D.MAT

Bu dosyaların kayıt özelliklerinin belirtilmesi gerekir ise;

***A.MAT:** İşaretin genliğinden elde edilir. Saniyede 1 değer örnekleme frekansı ile çalışmaktadır.

***B.MAT:** İşaretin frekans değişimi değerinden elde edilir. Saniyede 1 değer örnekleme frekansı ile çalışmaktadır.

***C.MAT:** İşaretin genlik değerinden elde edilir. Saniyede 50 değer örnekleme frekansı ile çalışmaktadır.

***D.MAT:** İşaretin frekans değişimi değerinden elde edilir. Saniyede 50 değer örnekleme frekansı ile çalışmaktadır.

Dünya üzerindeki tüm kayıt sistemlerinde zaman dilimi olarak UT kullanılmaktadır. Elazığ'da kurulu bulunan kayıt sistemi her gün UT saat diliminde saat 12:00'de kayıt yapmaya başlamaktadır. Bu kayıt 23:59'a kadar devam etmektedir. Gün değiştiğinde 00:00'da tekrar kayıta başlamakta ve 8 saat boyunca devam etmektedir. UT 08:00'de kayıt sistemi kaydı durdurmakta ve MATLAB workspace içerisindeki tüm data değişkenlerinin *.MAT dosyaları halinde kaydedilmesini sağlamaktadır. Burada belirtilen saat aralıkları sabit değildir. Verici ve alıcıya bağlı olarak değişmektedir. Değişkenlerin sadece doğrudan kaydı yoktur. Aynı zamanda elde edilen bu verilerin faz değişimleri de ayrı değişkenler olarak ayrı dosyalara kaydedilmektedir. Tüm bu işlemleri yapmak ve oluşturulan verileri Stanford Üniversitesi Star Lab.'da bulunan dünyaya açık olan sisteme aktarmak için 4 saat boyunca sistem kaydı kesilmektedir.

Her bir dosyada veri örnekleme frekansı ve kaydedilen veri tipi değişik iken kullanılan değişkenler aynıdır. Şekil 6-10’da, MATLAB veri dosyasında bulunan değişkenlerin listesi verilmiştir. Bu değişkenler, işaretin kaydedildiği ortamda belirlenmekte ve işaret hakkındaki tanımlayıcı bazı bilgileri ifade etmektedir. Bu değişkenlerin bazıları tahmin algoritmasında belirleyici veya tanımlayıcı görevlere sahiptir. Buradaki bazı değişkenler tez çalışmasında geliştirilmiş olan yöntemlere ait algoritmalarda kullanılacağı için hakkında bilgi verilmelidir.

İSİM	DEĞER
Fc	45900
Fs	1
VERSION	2.0051e+03
adc_channel_number	1
adc_sn	[]
adc_type	<12x1 double>
altitude	[32;48;49;49;53;55;46;54]
antenna_bearings	[]
antenna_description	[]
cal_factor	1
call_sign	[78;83;67]
computer_sn	[]
data	<730x1 double>
filter_taps	<1000x1 double>
gps_quality	[48;54]
gps_sn	[]
hardware_description	[]
is_amp	1
is_broadband	0
is_msk	1
latitude	<12x1 double>
longitude	<13x1 double>
start_day	24
start_hour	6
start_minute	23
start_month	10
start_second	50
start_year	2008
station_description	[]
station_name	[69;108;97;122;105;103]

Şekil 6-10 MATLAB veri dosyasında kullanılan değişkenler

Aşağıda bu tez çalışmasında kullanılan değişkenler anlatılmıştır;

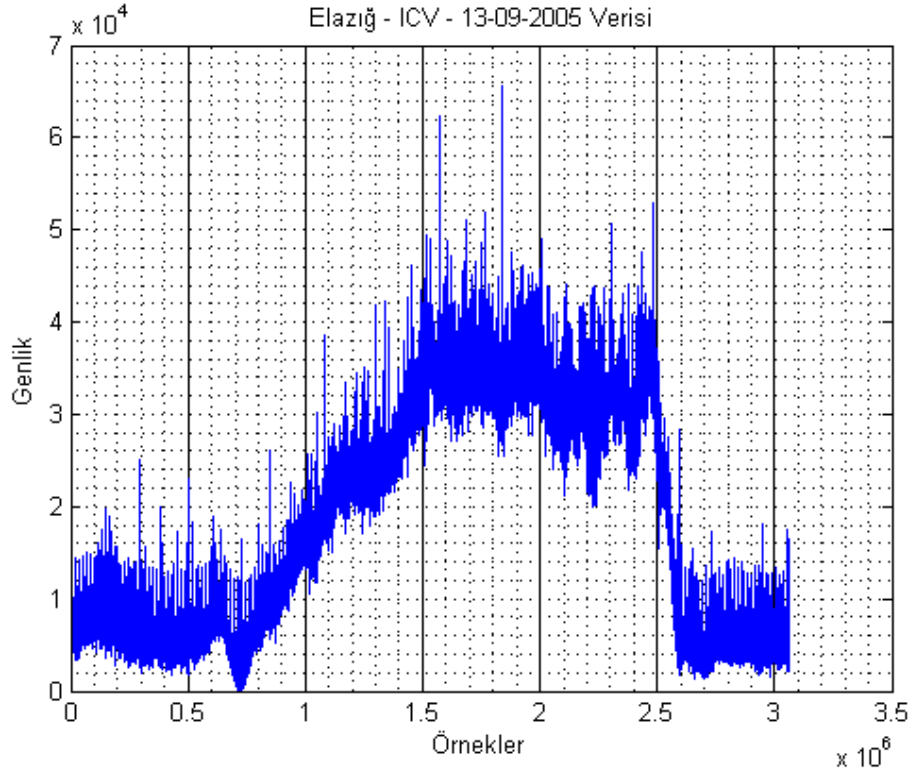
- **data:** İşaret verilerinin kayıt altında tutulduğu değişkendir. İşarete ait örneklenmiş tüm veriler bu değişkende saklanmıştır.
- **Fs:** Verilerin data değişkenine kaydedilirken kullanılan örnekleme frekansını belirler. Şekil 6-11’de görüldüğü gibi örnekleme frekansı 1’dir. Bu dosya bir *A.MAT dosyasıdır. Algoritmada Fs değişkeni, işaretlerin örnekleme aralıklarının değiştirilmesi sırasında kullanılacaktır.
- **call_sign:** İşareti gönderen vericinin kodunu belirlemektedir. İşaretlerin otomotize edilerek çizdirilmesini sağlayan algoritmalarda tasnif edici bir özelliğe sahip olmaktadır.
- **start_day:** İşaretin hangi güne ait olduğu bilgisini ifade eder. Sistem, her defasında aynı zamanda devreye girmeyebilmektedir.
- **start_hour:** İşaretin hangi saate ait olduğu bilgisini ifade eder.
- **start_minute:** İşaretin hangi dakika ait olduğu bilgisini ifade eder.
- **start_month:** İşaretin hangi aya ait olduğu bilgisini ifade eder.
- **start_second:** İşaretin hangi saniyeye ait olduğu bilgisini ifade eder.
- **start_year:** İşaretin hangi yıla ait olduğu bilgisini ifade eder.
- **station_name:** Kaydı yapan istasyon hakkında bilgi vermektedir. Algoritmada işaretlerin tasnifini sağlayan önemli bir değişkendir. Sistemin bağımsız karar verebilmesi için gereklidir.

İşaretler, sistemin durumuna bağlı olarak herhangi bir anda devreden çıkıp ve herhangi bir anda devreye girebilmektedir. Her yeniden devreye girmede yeni bir dosya oluşturulmaktadır. Bu ise bir gün için onlarca dosya olabileceği sonucunu doğurur. Veri inceleme işinin zorluğu da burada gelmektedir. Bu veriler bir birinden ayrı dosyalarda aynı gün için farklı zaman dilimlerini tanımlamaktadır. Çözülmesi gereken önemli bir sorun ise bu ayrışık zaman serilerinin tek zaman serisi üzerinde toparlanmasıdır. Tez çalışmasında bu sorunu çözmeye yönelik olarak da bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma vasıtasıyla alıcı veya vericiden kaynaklanan kesintilerden dolayı tek gün için oluşturulmuş olan MATLAB veri dosyalarındaki data değişkenleri birleştirilerek zaman serisi üzerindeki uygun değerlere oturtulmaktadır.

Saniyede 1 örneğin alındığı *A.MAT dosyası içerisinde bulunan data değişkeni işaret genliğini ifade etmektedir. Bu data değişkenin uzunluğu kayıta bulunulan saate göre

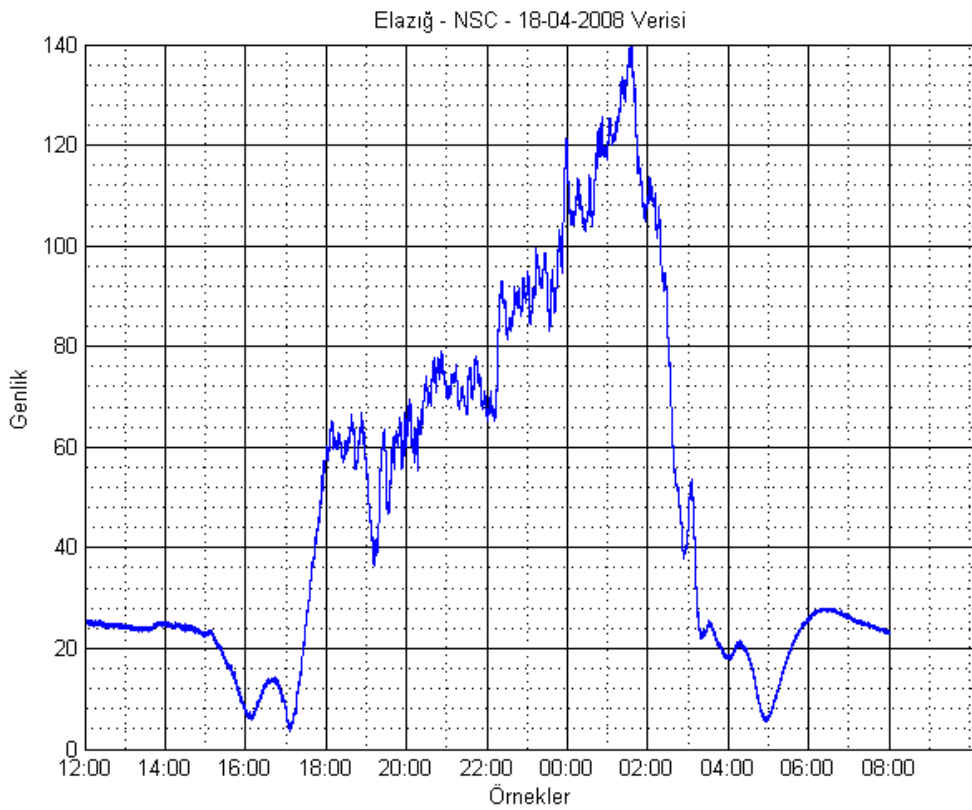
değişebilmektedir. Tam ve hatasız yapılmış bir veri kaydı sonucundan data değişkeni 72000 satırdan oluşan bir dizi olarak elde edilmektedir. Sistem 24 saatlik zaman dilimi içerisinde belirli bir zaman aralığında durdurularak, kayıtların düzenlenmesi ve Stanford Üniversitenin FTP adresine atılması sağlanmaktadır. Dolayısıyla tüm gün içerisinde 24 saatlik bir kayıt yapılmamaktadır. Elazığ alıcı istasyonunda veri işleme için 4 saat sistem durdurulmaktadır. Veri kaydının ve işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan süre verilerin en fazla kayıplara uğradığı süreye denk getirilmektedir. İyonküre üzerinde VLF işaretleri için en iyi iletim zamanı gece süreleridir. Gece sürelerinde, çevresel etmenlerden kaynaklanan bozulmaların en aza indirgendiği düşünülürse en yüksek iletim kapasitesinin, gece zamanını ifade ettiği söylenebilmektedir.

Şekil 6-11’de *C.MAT dosyasında alınmış 30600000 boyutundaki data değişkeni ile çizilmiş olan bir örnek VLF işareti bulunmaktadır. Bu işaret üzerinde her hangi bir düzletme veya örnekleme yapılmamıştır. Bu kayıt, Elazığ alıcı istasyonunda kaydedilmiş ICV VLF gece süresi işaretini ifade etmektedir. Bu veri üzerinden bilgi çıkarılamayacak kadar karmaşıktır.



Şekil 6-11 İşlenmemiş Elazığ-ICV 12-13-09-2005 gece süresi VLF işareti

Bu veriler her verici istasyonu için farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Bu karakteristik yapıların tamamında bulunan ortak karakteristik davranışlar ise algoritmanın temelini oluşturan parametreleri barındırmaktadır. Şekil 6-12’de NSC verici istasyonundan elde edilmiş olan VLF işaretine ait grafik bulunmaktadır. Bu grafik *A.MAT dosyasında bulunan 72000 örneğe sahip data değişkeni ile çizdirilmiştir. Karmaşanın daha az olduğu bir yapıya sahip olan *A.MAT dosyasındaki data değişkeni örneği, Şekil 6-11’de çizdirilmiş olan *C.MAT dosyasındaki veri kümesinden daha anlaşır bir karakteristik sergilemektedir. Özellikle algoritmanda kullanılan yöntemlerden olan kesim zamanı tespiti konusunda daha belirgin noktalar barındırılmaktadır.

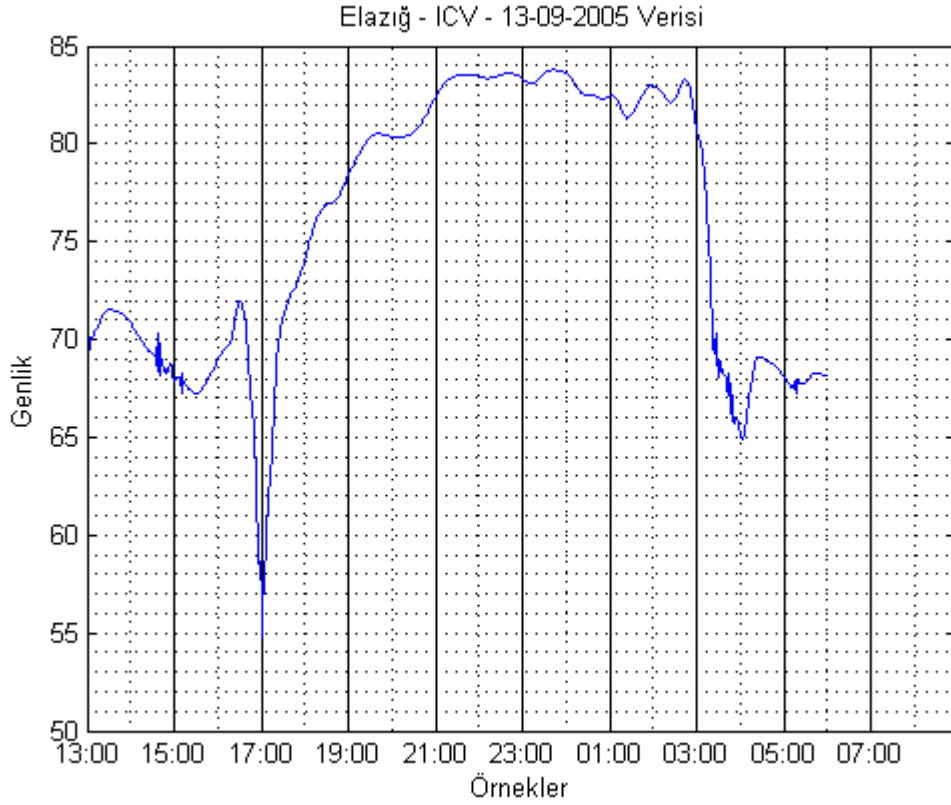


Şekil 6-12 Elazığ – NSC 17-18-04-2008 gece süresi VLF işareti

Bu veriler, kullanacak olan algoritmaların yanıt performanslarının artırılması için, örnekleme frekanslarının daha düşük olduğu bilgi seviyesine sıkıştırılmaktadır. Bu veri boyutunu düşüren değişiklik algoritmanın çıkış noktası olan kesim zamanı karakteristikleri üzerinde her hangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır.

Şekil 6-13’de Şekil 6-11’de çizdirilmiş olan Elazığ-ICV VLF işareti örnekleme frekansının dakikada 1 veriye dönüştürülmüş ve gürültüden arındırılmış hali çizdirilmiştir.

Grafik incelendiğinde Şekil 6-11’de olduğu gibi karmaşık bir yapıdan uzak, karakteristiklerin rahatlıkla hazırlanacak algoritmalarla çıkarılabileceği bir formata olduğu görülmektedir.

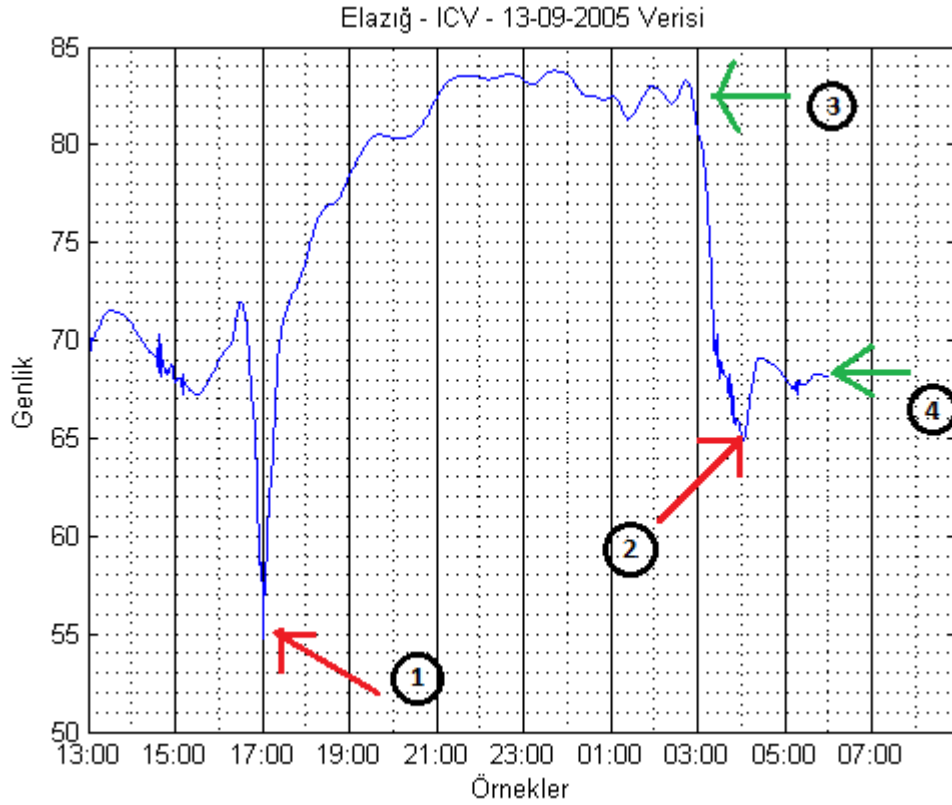


Şekil 6-13 İşlenmiş Elazığ-ICV 12-13-09-2005 gece süresi VLF işareti

Kayıt sistemleri tarafından elde edilen VLF işaretleri incelendiğinde algoritmanın çalışması için en kritik aşamanın, verilerin işlenebilir bir hale dönüştürülmesi olduğu görülebilmektedir. Bu konu dönüştürülmesi gereken verinin boyutu ve sahip olduğu düzensizlik göz önüne alındığında ne kadar ciddi bir sorun teşkil ettiği görülebilir. Örneğin her hangi bir deprem incelendiğinde 3 aylık bir süreç içerisinde düzenli 30 gün çıkarılması gerektiği görülmektedir. Her gün için ise en az 1-2 en fazla 10~ ayrı veri dosyasının belirli zaman aralıkları ile kaydedilmiş olabilmektedir. Bu dosyalar içerisinde 72000 veri var olduğu düşünülür ise yaklaşık 90×72000 veri, yüzlerce dosya arasından çıkarılıp UT zaman dilimine uygun, ay, gün, dakika olarak tasnif edilmesi ile ancak kullanılır bir veri kümesi elde edilmektedir.

6.1.4 Genel Veri Karakteristikleri

Verici tarafında üretilen VLF işareti, İyonküreden yansıyarak alıcı tarafında kaydedilmesi sonucunda elde edilen verilere ait bazı genel karakteristikler bulunmaktadır. Şekil 6-14 incelendiği zaman görülecektir ki genlikler gece ve gündüz sürelerinde farklılık göstermektedir.



Şekil 6-14 VLF İşaret Karakteristikleri

Gece ve gündüz sürelerinde gerçekleşen iletim ile elde edilen işaret genlikleri Şekil 6-14'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 6-14'te 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, genişin 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 karakteristiklerindendir. 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.

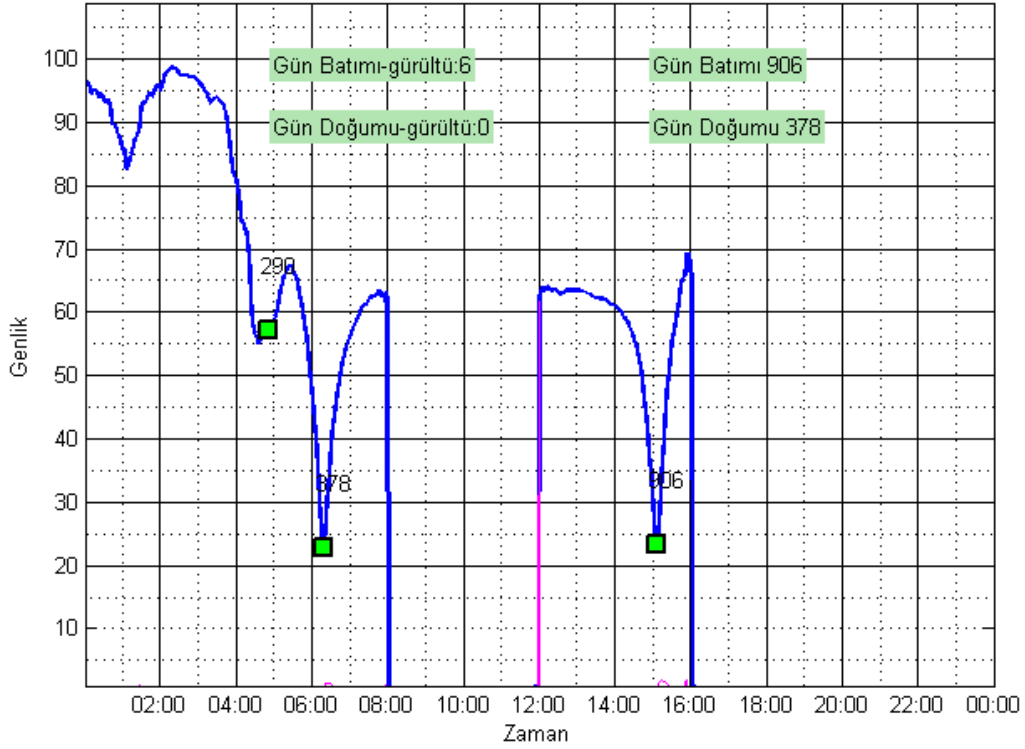
Yapılan araştırmalar ve yayınlarda görülmüştür ki, genlik üzerinde yapılacak bir çalışma yerine, kesim zamanları üzerinde yapılacak olan deprem öncü habercisi incelemeleri daha doğru ve anlamlı sonuçlar vermektedir (Molchanov vd., 1998).

Kesim zamanları belirlenmiş bir VLF işareti üzerinden gece süreleri hesaplanabilmektedir. İşaretlerden elde edilen bu gece süreleri deprem öncü habercilerinden kabul edilmektedir. Özellikle gece ve gündüz dönümlerinden elde edilen bu sayısal değerlerin değişim grafiği çoğu depremlerde anlamlı ilişkisellikler ortaya koyabilmektedir (Hayakawa, 2008).

VLF işareti ile tahmin geliştirme yöntemlerinin tamamı incelendiğinde genel olarak gün dönümleri kesim zamanlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu durum, işlemlerimizin büyük kısmının işaret üzerindeki belirli bölgelerle kısıtlı olacağı sonucunu doğurmaktadır. Tüm işaret içerisinde bölgesel olarak önemli kısımlar bulunmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen tahmin algoritmalarının hepsi kesim zamanları bölgelerindeki bilgiler üzerine geliştirilmiştir. İşaretin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için bu önemli bölgelerin arızalı veya hatalı veri bulundurmaması gerekmektedir.

Bir işaretin kullanılabilirliğinin kararı için önemli bölgelerinin doğruluğu tespit edilecektir. İşaretlerdeki bu bölge mevsimlere bağlı olarak kaymaktadır. Güneşin doğuşu

ve batışı mevsimlere göre farklılık gösterdiğinden, bu kesim zamanları ± 2 saat yaklaşık değişim göstermektedir. Geliştirilen algoritma, bu değişimleri göz önünde bulundurarak kesim zamanı araması yapmaktadır. Şekil 6-15’de eksik ancak tez çalışmasında gerçekleştirilen algoritmalarla uygun bir VLF işaret görülmektedir.



Şekil 6-15 Eksik, ancak kullanıma uygun örnek veri

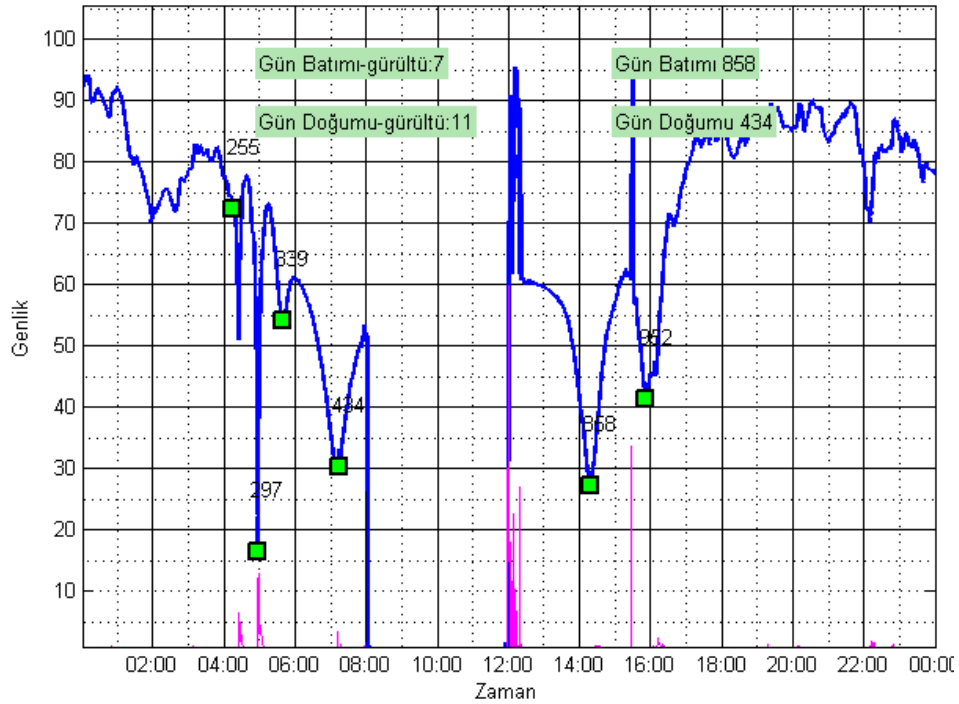
6.1.5 Hatalı Veri Davranışları

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. Aslında bu bozulmaların tamamı hata kabul edilmemelidir. Örneğin depremlerden kaynaklanan bir bozulma aslında taşınmış değerli bir bilgi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tahmin algoritmasının düzgün bir şekilde çalışması için sağlıklı verilerin temin edilmesi gerekmektedir. Eldeki verilerin belirli özelliklerinde yaşanan eksikler hatalı tahmin veya yanıltıcı yönlendirmelere sebep olma ihtimali söz konusudur. Bu durumda VLF işaretleri üzerinde bazı temel karakteristiklerin bozulmamış olması beklenmektedir. Buna göre işaretler için aşağıdaki başlıklar altındaki bilgiler verilmelidir.

6.1.5.1 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. Tez için temin edilmek istenen veriler için karşılaşılan en önemli problem veriye sahip olmadığımız günlerdir.



Şekil 6-16 Aşırı Gürültülü bir Veri örneği

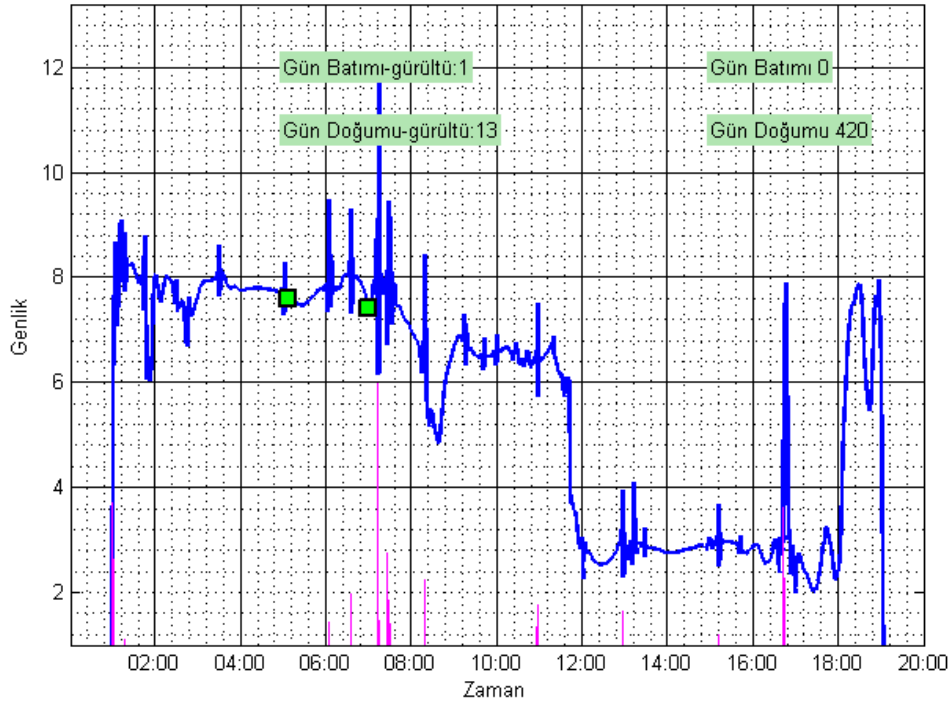
6.1.5.2 Aşırı Gürültü

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 6-16'de aşırı gürültü ve algoritmaya hatalı karar verdirecek bir hatalı veri kümesi bulunmaktadır.

6.1.5.3 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 6-17'de susmuş bir vericinin alıcı üzerindeki yayını görülmektedir.

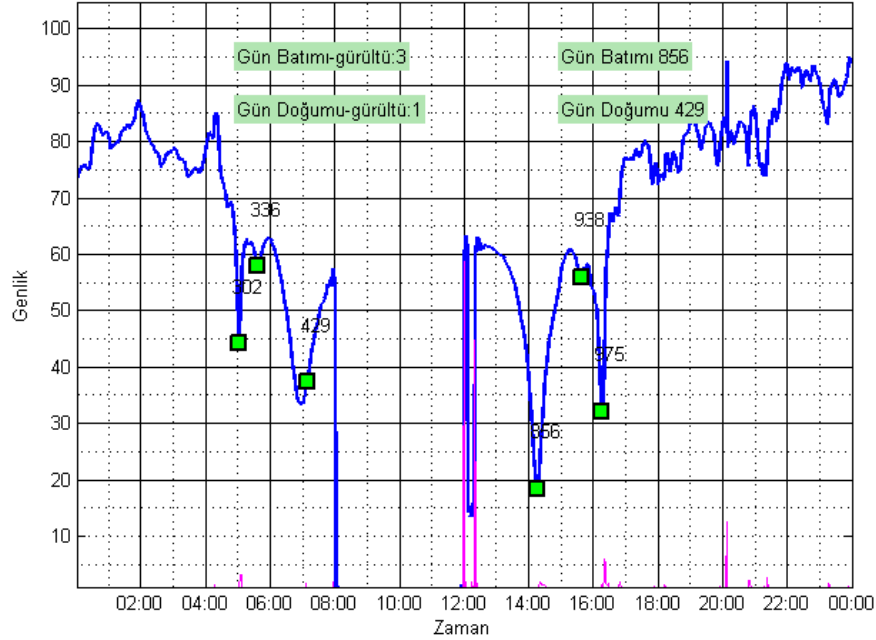


Şekil 6-17 Susmuş vericiden kaydedilen VLF işareti

Bu tarz bir susmuş verici veya kesik kesik yapılmış olan bir kayıt algoritma tarafından basit yöntemler ile ayrıştırılabilmekte iken, kesim zamanları üzerinde yaşanmış olan bir kesinti, çözümü zor sonuçlar doğurmaktadır. Şekil 6-18'de işaretin başlaması gereken zaman aralığında başlamadığı veya işaret sağlayıcının sustuğu görülmektedir.

Şekil 6-16'de işaret bilinmeyen etkenlerden dolayı ani darbe ve bazı noktalarda veri eksiklikleri ile karşımıza çıkmaktadır. Bu tarz bir işaret ile karşılaşıldığı zaman tahmin algoritmasının hatalı sonuç bulmasına sebep olması engellenmelidir. Algoritma içerisinde

verilerinin kullanılrlılığını sağlamak için geliştirilmiş çeşitli prosedürler bulunmaktadır. Bu durum ileride ayrıntıları ile açıklanacaktır.



Şekil 6-18 Aşırı Gürültü veya Kayıplar

6.1.6 Veri Dosyalarının Seçimi

Algoritma yapısına bağlı olarak geniş bant verilerinin fazla bir katkı sağlamayacağı gibi dar bant verilerin de boyutları fazla gelecektir. Dolayısıyla veri tipi olarak mutlaka dar bant seçilmelidir. Gün dönümleri baz alınarak üretilen algoritmalarda kesim zamanlarının tespitinin önemli olduğu düşünülürse, dar bant verilerinin de üzerinde veri azaltma yoluna gidilmesinin faydalı olacağı görülecektir. Dolayısıyla seçim *A.MAT veya *B.MAT lehine kullanılmalıdır.

Literatürde yapılmış olan çalışmalarda, genlik üzerine oluşturulan tahmin yöntemleri her zaman için faz üzerine yapılan yöntemlerden daha verimli sonuçlar verdiği görülmektedir. Tez çalışmasında genlik verileri üzerinden tahmin algoritmaları geliştirilmiştir. Dolayısıyla MATLAB dar bant verilerinden genlik olarak hazırlanmış olan genlik verilerini barındıran *A.MAT dosyası kullanılmıştır.

6.2 Depremlerin Öncü Habercilerinin Tahmini İçin Önerilen Algoritma

Tez kapsamında, depremlerin tahmini için yapılacak olan çalışmaların temelinde VLF işaretlerinin işlenmesi bulunmaktadır. Sayısal yöntemler ile işaret işleme teknikleri, algoritmaların üzerine kurulu olduğu prensiplerdir. Verilerin içerisinde hatalı noktaların olması ve bu verilerin işlemlerde tehlikeli sonuçlar ortaya çıkarması aslında en önemli ve dikkat edilmesi gereken kısım olarak ortaya çıkmaktadır. Bu noktada algoritmanın önemli ve sonucu etkileyecek parçaları sadece öncü haberci tahmini kısmında değil aynı zamanda verilerin elde edilmesinden sonraki tüm süreçlerdir. Budan dolayıdır ki tez kapsamından hazırlanan algoritma, sürecin tüm aşamalarına uygun ve bu aşamalarda yaşanacak olan hataları göz önüne alarak geliştirilmiştir.

Tez çalışması ile geliştirilen algoritmanın tüm adımları bu bölümde başlıklar halinde anlatılacaktır. Kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin algoritmalara yansıtılma prensipleri tek tek ifade edilecektir.

6.2.1 Yazılımsal Altyapı

Algoritmayı çalıştıran uygulama geliştirilirken, gerçekleştirilecek olan matematiksel işlemler için uygun bir platform olan MATLAB kullanılmıştır. MATLAB üzerinde, yazılımın getirmiş olduğu bazı kolaylıklardan faydalanılarak depremlerin öncü habercilerinin tespitine yönelik tahmin yapılabilmesini sağlayacak algoritmalar geliştirilmiştir.

Belirli başarımla oranı ile öncü haberci tahmini yapan algoritma, MATLAB yazılımının bazı temel özelliklerini ve fonksiyonlarını kullanarak yeni bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama birden fazla m-file ve GUI (Graphical User Interface)'den oluşmaktadır. Bu uygulama parçalarının her birinin algoritmanın hangi görev alanında yer aldığı ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

6.2.2 Geliştirilen Tümüleşik Tahmin Algoritması

Deprem öncü haberci tahminini gerçekleştiren algoritmayı oluşturan birkaç alt prosedür bulunmaktadır. Bu prosedürler, literatür taramaları sonunda toparlanmış olan yöntemler ile tez çalışmasında ortaya atılmış olan yeni bir yöntemin tahmin algoritmalarını

içermektedir. Sayısal olarak kayıt sistemi tarafından elde edilmiş ham verilerin, kullanılabilir hale getirilmesini sağlama açısından yeni dönüştürme yöntemleri önerilecektir. Tezde, dönüştürülmüş olan verilerin algoritmik doğrulama ve seçimleri için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile elde edilen işlenebilir veri, tahmin algoritmalarında anlamlandırılacaktır.

Veriler kayıt sisteminde sayısal MATLAB formatında kaydedildikten sonra algoritmanın adımları çalışmaktadır. Veriler, tahmin yöntemlerinde kullanılabilmesi için bazı ön işlemlerden geçirilecektir.

6.2.2.1 Depremlerin Tespiti

Üzerinde çalışılacak depremlerin tespiti önemli bir başlıktır. Yöntemlerin doğru sonuç verebilmeleri ancak doğru depremler üzerinde yapılacak olan çalışmalar ile gerçekleşebilir. Örneğin herhangi bir depremin incelenebilmesi için o hat üzerinde uygun alıcı ve vericilerin olması gerekmektedir. İncelenecek olan depremlerin seçimi için bazı dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar;

- **Depremin Alıcı ve Verici Hattı Üzerinde Bulunması:** Seçilecek olan depremin konumu önemlidir. Depremin gerçekleştiği yerin alıcı ve vericilerin iletişimde olduğu hattın üzerinde olması önemlidir. Hatta uzak bir noktada gerçekleşen depremler hakkında bilgi, vericiden gelen VLF işaretlerinin üzerinde olması beklenmemelidir.
- **Fresnel Alanı:** İşaretlerin aktarıldığı yerküre-iyonküre dalga kılavuzundaki en etkin değişim gösteren alan Fresnel alanıdır (Molchanov vd., 1998). Alıcı ve verici hattı üzerinde olan bu alan işaret hakkında en çok bilgi barındırdığı alandır. Depremin bu alan içerisinde olması, taşıdığı bilginin faydalı olması ihtimalinin artırmaktadır.
- **Zaman Farkları:** Çalışma mantığı olarak gün dönümleri kabul edilmiş olması zaman farklarının önem arz etmesi sonucunu doğurmaktadır. Kullanılan deprem tahmin yöntemlerinin temeli itibari ile bilgi, gün doğumu ve gün batımlarının üzerinde bulunmaktadır. Dolayısıyla büyük zaman farkları etkinin yayılımına ve bilginin kaybolmasına sebep olabilmektedir.

- **Deprem Yeryüzüne Olan Uzaklığı:** Depremler gerçekleştikleri derinlikler açısından ayrıştırılabilmektedir. En fazla 10 -20 km arasındaki derinliklerde gerçekleşen depremler yüzeysel depremler olarak adlandırılabilmektedir (Hayakawa ve Molchanov, 2000). Ancak yüzeysel depremlerin etkilerinin iyonküre üzerinde oluşması söz konusudur.

6.2.2.2 Verilere Ulaşım

Algoritmayı test etmek için gerekli VLF işaretlerine ulaşmak için Stanford Üniversitesi'nin oluşturmuş olduğu VLF grup ağına erişim sağlanmalıdır (URL-15, 2011). Bu erişim sağlandığı takdirde, dünya üzerinde dağılmış bulunan 26 vericiden gelen VLF işaretlerinin kaydedildiği 15 alıcı sistemin verilerine ulaşılabilir (URL-19, 2010). Ancak bu sistemin tüm alıcılar ve vericilerin değil sadece seçilmiş olan vericilerin VLF işaretlerini kaydetmektedir.

Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü'nün Stanford Üniversitesi VLF grup üyesi olması Elazığ alıcı kayıt sistemindeki verilere ulaşılması konusunda kolaylıklar sağlamıştır. Ayrıca bu alıcı sistemlerinde yaşanan sıkıntılar, ulaşılan verilerin tamamının kullanılabilir veri olamaması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Örneğin 23 Ekim 2011 tarihinde Van 'da gerçekleşmiş olan 7.2 şiddetli depremde ve öncesinde kayıtlı bulunan herhangi bir anlamlı veri bulunamamıştır.

6.2.2.3 Veri Elde Etme Algoritması

Kayıt sisteminde üretilen sayısal VLF işaret bilgileri doğrudan tahmin yöntemlerinde kullanılmamaktadır. Yöntemler incelendiğinde tüm kayıtlı verilerin bazı özel bölgeleri ile çalışıldığı görülebilir. Özel bölgelerin dışında kalan gereksiz veriler tahmin sistemi için yük oluşturacak ve duruma göre tahmini yanıltıcı arızalı durumlara sebep olacağı için sıkıştırılması gerekmektedir. Bu sıkıştırma, veri kümesinin küçültülmesi ile gerçekleşmektedir.

Kullanılan veri dosyaları seçimi, genlik değerlerinin saniyede 1 veri kaydı yapılmış olduğu *.MAT dosyalarından yapılmıştır. Saniyede bir veri kaydı ile oluşturulan bu dosyalarda her gün verisi için 86400 değer kaydedilmiş durumdadır. Tahmin, bu veri kümesi üzerinden yapılmaya çalışılır ise tüm verilerin işlenmesi süreçleri tıkayan bir hal

alacaktır. Tahmin yöntemlerinin tamamı günün belirli aralıklarındaki işaret davranışları üzerinden yapıldığı düşünülür ise, kaydedilen verilerin karakteristiklerinin kaybolmaması durumu dikkate alınarak, işaret boyutu küçültülmelidir.

İşaret davranışlarının değişimi dakikalık bir hassasiyete sahiptir. Sıkıştırma, saniyelik verilerin aritmetik ortalamalarının alınması ile veri kümesinin 1440 değere düşürülmesi ile gerçekleştirilir. Bu düşünüm sonunda elde edilen kümede gün dönmeleri karakteristikler barındırılmaktadır.

VLF Veri kayıt sistemi yapısı itibari ile tüm gün verilerini tek dosyada tutmamaktadır. Gerçekleştirilecek olan tahmin algoritmasında kullanılmak üzere seçilen gün verilerinin, birden fazla dosya ve değişkende olması, analiz işleminin yapılamaması sonucunu doğurur. Sistem, verilerin çok sayıdaki dosyadan okunarak tek bir değişken ve dosyaya taşınmasını sağlamalıdır. Tahmin yöntemlerinin ve diğer ön işlemlerin doğru çalışabilmesi için bu gereklidir.

Gün verileri için en az iki dosya bulunmaktadır. Duruma göre bu dosya sayısı artabilmektedir. Sistemin beklenmedik bir durumla karşılaşması halinde, kaydın kesilmesi ve o ana kadar elde edilmiş olan verilerin bir dosyaya kaydı ile sonuçlanmaktadır. Bazı günlerde tam gün VLF işaretleri onlarca ayrı dosyada ayrı zaman dilimlerine oturtulmuş şekilde kaydedilmektedir.

Tez kapsamından gerçekleştirilen algoritmik veri elde edim sisteminde, tüm aynı formatta kaydedilmiş olan dosyalar tek bir klasörden gösterildikten sonra aşağıdaki işlem adımlarından geçirilmektedir.

- **Klasör Oku:** Dosyaların bulunduğu klasör okunmaktadır. Burada bulunan *.MAT dosyaları işleme girmektedir.
- **Dosya Oku:** Dosyalar içerisindeki data, Fs, start_hour, start_minute, start_second, start_year, station_nme, call_sign değişkenlerinin alınması için okunmaktadır.
- **Zaman Eksenine Oturt:** Genel veri dosyasındaki data, start_hour, start_minute, start_second ve Fs değerleri Dakikada1Veri fonksiyonuna gönderilerek zaman eksenine yerleştirilmesi sağlanmaktadır.

- **Dakikada 1 Veriye Dönüştür:** Zaman eksenine yerleştirilmiş olan veri her dakika için kaydedilmiş 60 verinin aritmetik ortalamasını alarak data değişkenini 1440 veriye dönüştürmektedir.
- **Gürültüden Arındır:** MATLAB'ta bulunan hazır bir fonksiyon olan wden fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile gürültülü işaret daha az gürültü içeren bir işarete dönüştürülmüştür (Güzel vd.,2011).
- **Merkezi Değişkene Taşınması:** Tüm dosyalar okunup dönüştürüldükten sonra kolay bir şekilde kullanılabilmesi için alıcı-verici ve yıl değişkenlerine bağlı olarak ayrı MATLAB değişken dosyasına kaydedilmektedir. Her dosya okunduktan sonra Merkezi Değişken dosyasında ilgili ay, gün ve zaman eksenlerine oturtulmaktadır.

Bu işlem adımlarının ardından diğer süreçlere girmek üzere AlıcıVericiYIL_Veriler.MAT adında VLF genlik işaretinin dakikada bir değere dönüştürülmüş şekilde kaydedildiği bir dosya oluşturulmaktadır.

Bu algoritmanın yürütülmesini sağlayan iki MATLAB m-file dosyası yazılmıştır. Bu m-file'lar ile veri Elde Etme algoritması çalıştırılmaktadır. Bu sürecin önemli adımlarından biridir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde görülmüştür ki karşılaşılan en önemli sıkıntıların başında, milyarca kaydın içerisinden anlamlı bilginin çıkarılması için boşa harcanan büyük bir iş gücü bulunması gelmektedir. Bu iş gücü kaybı, çalışmaların kısıtlı bir aralıkta yapılması sonucunu doğurmaktadır.

Gerçekleştirilen algoritmanın bu ayağı ile anlamlandırma ve tahmin geliştirme işlemlerinin daha hızlı ve kolay bir şekilde yapılmasını sağlayan bir katkı sunulmuştur. Böylece yapılacak olan diğer çalışmalara da fayda sağlanacaktır. Geliştirilen uygulama öncesi herhangi bir depremin incelenmesi haftalar sürerken, bu Elde Etme algoritması ile deprem inceleme işi sadece birkaç dakikalık bir sürede gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Şekil 6-19'de bu dönüşüm algoritmasının akış diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 6-19 Veri Elde Etme Algoritması akış diyagramı

6.2.2.4 VLF İşareti Üzerindeki Hatalar

Alıcı ve vericiler yoluyla elde edilen VLF işaretlerinin tahmin yapılabilmesi için önceden hata kontrollerinden geçirilmesi gerekmektedir. Herhangi bir gün için oluşturulmuş VLF işaret kullanılması bazı hatalardan arındırıldıktan sonra gerçekleşmelidir. Aksi halde hatalı veriler hatalı veya yanıltıcı sonuçlar doğmasına sebep olacaktır. 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.

Hata tespiti için aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- **Ani Değişim:** Önemli bölgelerde yaşanan ani işaret değişimlerinin kesim zamanı tespitini yanıltacak durumlar ortaya koymasını engellemek için Ani Değişim Tespit ve Düzeltme algoritması geliştirilmiştir.
- **Gürültü Tespiti ve Verici Susması:** Tahmin yöntemlerinin üzerinde çalıştığı karakteristik değişimlerin bulunduğu önemli bölgelerin belirli bir yapıyı yansıtması gerekmektedir. Bunun için bu bölgelerdeki gürültü tespit edilmelidir. Gürültü işareti, olması gereken değer dışındaki değerlerde

olması ile hataya sebep olmaktadır. Bu hatalar ancak yapılacak olan algoritmik tespit yöntemleri ile ortadan kaldırılabilir.

- **Boş Veri İptali:** Tahmin yöntemleri seri gün verileri üzerinde çalışmaktadır. Seri oluşturulan gün verileri içerisinde arızalı olan günler sonuçları değiştiren hatalı durumlar ortaya koymaktadır. Bu hatalı durumlar tahmin yöntemlerini çalıştıran algoritmalara sokulmadan evvel seriden çıkarılmalıdır.

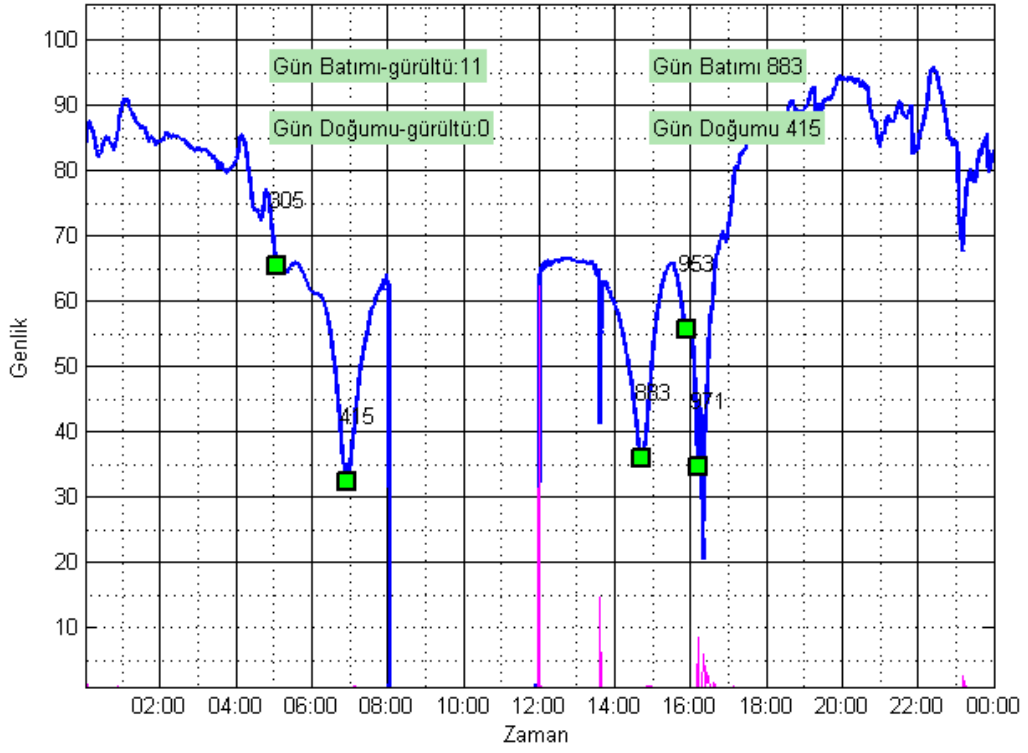
Yukarıda belirtilmiş olan hata durumlarının tespitini ve bu durumların ortadan kaldırılmasını sağlayan algoritmalar ortaya koyulmadığı takdirde, çalışan sistem hatalı verileri ile tahmin üretmekte ve dolayısıyla yanıltıcı sonuçlar vermektedir. Yapılması gereken, bilinen bu hata durumlarını ortadan kaldıracak VLF işareti üzerinde çalışan algoritmaları ortaya koymaktır.

6.2.2.5 Geliştirilen Hata Düzeltme Yöntemleri

Hata düzeltme işlemlerinin temel olarak çalıştığı alan, önemli karakteristiklerin barındırıldığı gün dönümleri alanıdır. Tespitler, gün doğumu ve gün batımı ile sınırlıdır. Bulunan bu parametreler üzerinden yeni parametreler ve tahminler gerçekleştirilecektir. Hata düzeltme işlemleri de bu alan içerisinde sınırlı kalacaktır.

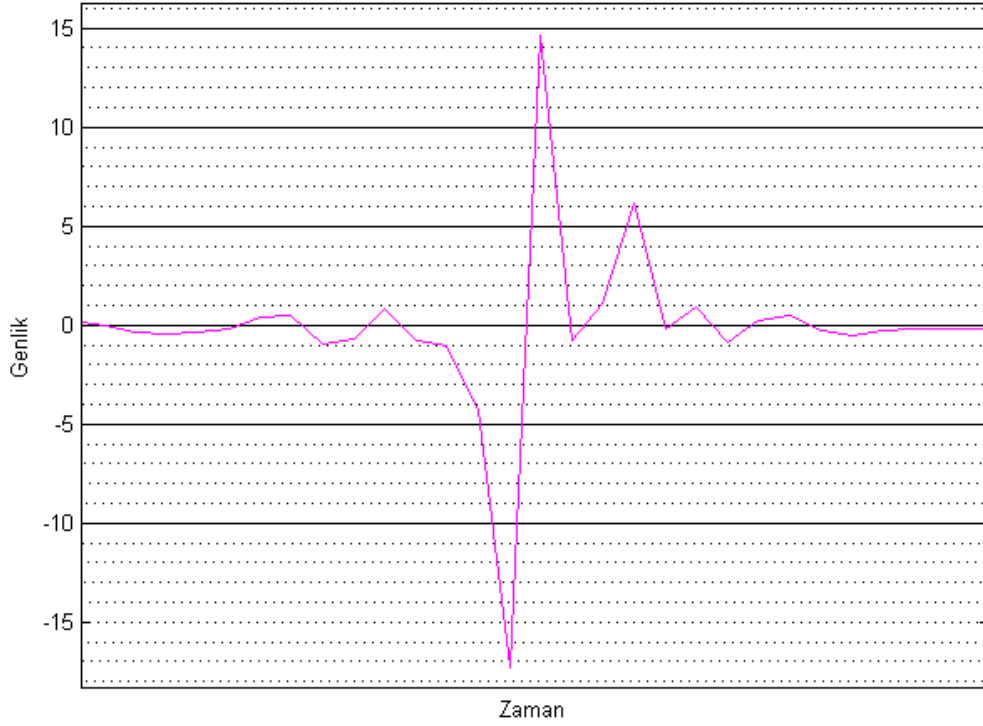
6.2.2.5.1 Türeve Bağlı Ani Değişim Tespiti ve Düzeltmesi

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 6-20’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 işaretlememiştir. VLF işaretinin üzerindeki önemli bilgi kesim zamanları içerisindeydir. Bu kısımda yaşanacak bir arıza giderimi önemlidir. İşaretin kalan kısmı tahmin sonuçlarını değiştirmez.



Şekil 6-20 Hatalı veri örneği

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.

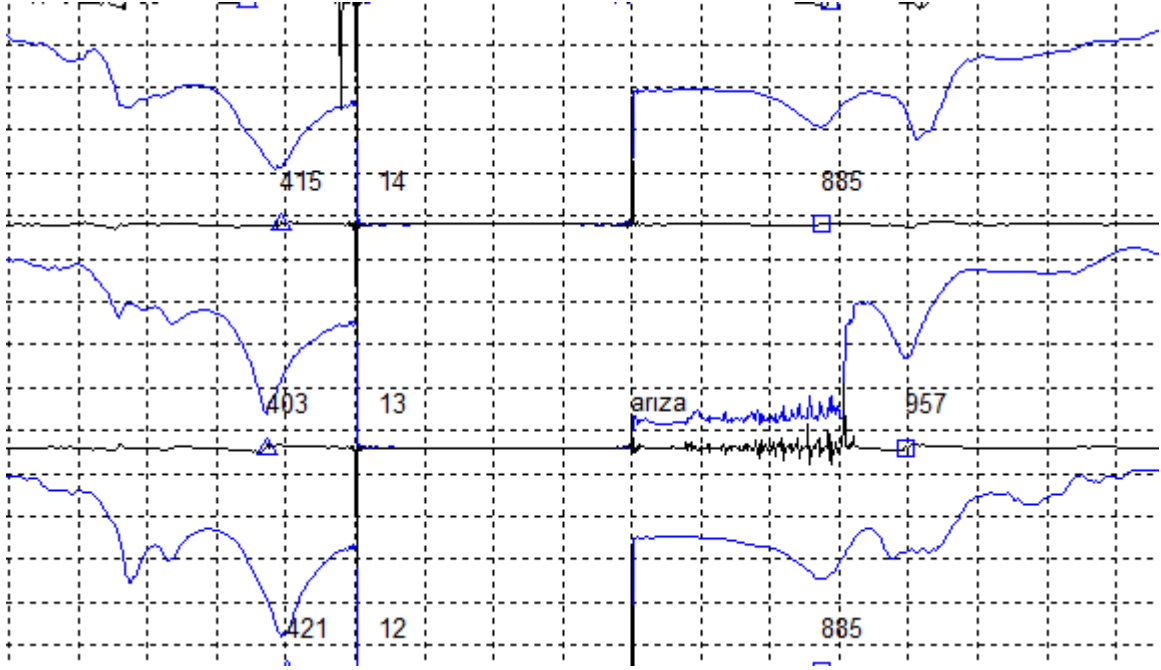


Şekil 6-21 Hatalı işaret diferansiyeli

Şekil 6-21’de görüldüğü gibi bir değer kümesi ile karşılaşıldığında algoritma bu noktaları hata verisi olarak tanımlamakta ve kesim zamanı olarak işaretlememektedir.

6.2.2.5.2 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 6-22’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.

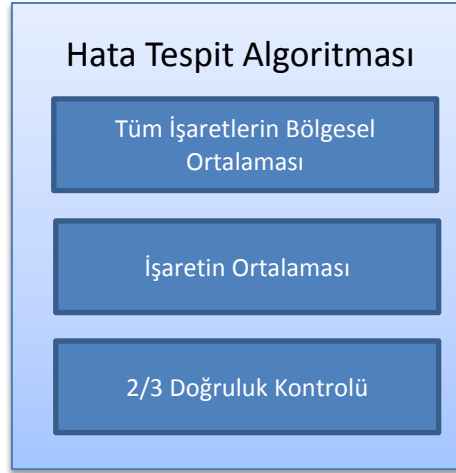


Şekil 6-22 Arızalı VLF işareti tespit eden algoritma sonucu

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.

Şekil 6-23'de aritmetik ortalamaya bağlı bölgesel hata tespit algoritması akış diyagramı görülmektedir.



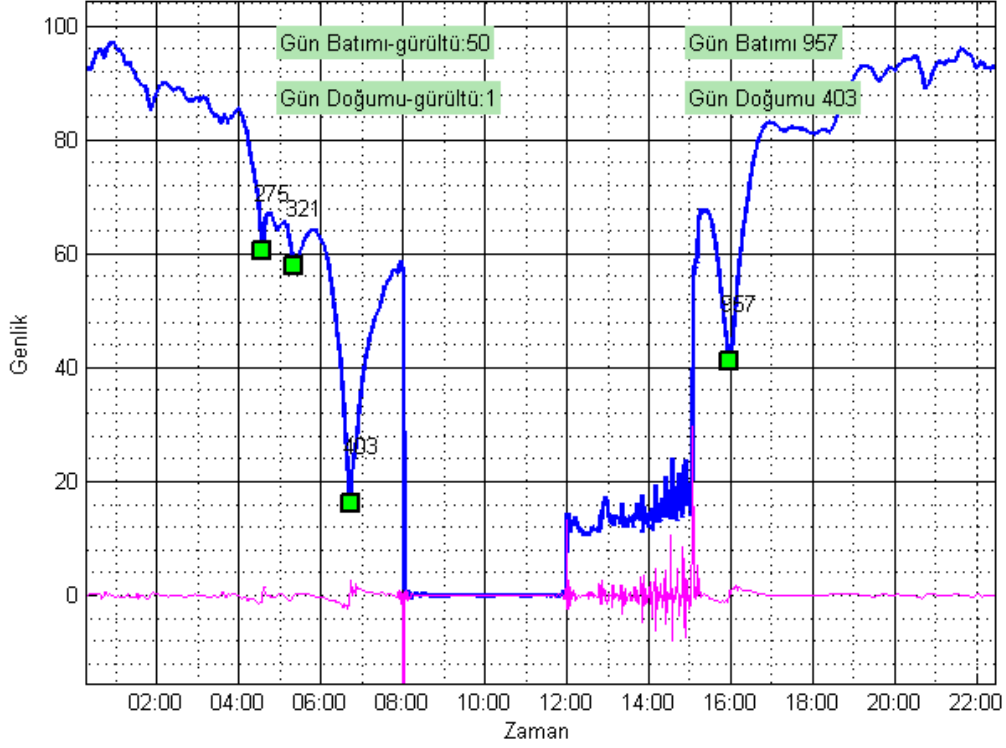
Şekil 6-23 Aritmetik ortalamaya bağlı bölgesel hata tespit algoritması

6.2.2.5.3 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 6-22 incelendiğinde arızalı olan işaretin ani değişimler gösterdiği ve bu değişimlerin işaret türevinde takip edilebilir değişikliklere sebep olduğu görülmektedir. Şekil 6-24’de görüldüğü gibi gün batımı kesim zamanı kapsamındaki zaman diliminde işaret türevi aşırı değişimler göstermektedir.

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 toplamaları 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 6-24’de gösterilmiş olan grafikte de görüleceği gibi Gün Batımı Gürültü değeri tanımlanmış olan limit değerlerini 50 defa aşmış durumdadır. Bu ise işaretin hatalı

bir işaret olması durumunu getirmektedir. Şekil 6-25’de türeve bağlı hata tespiti algoritması akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6-24 İşaret türevi tabanlı hata tespit sistemi

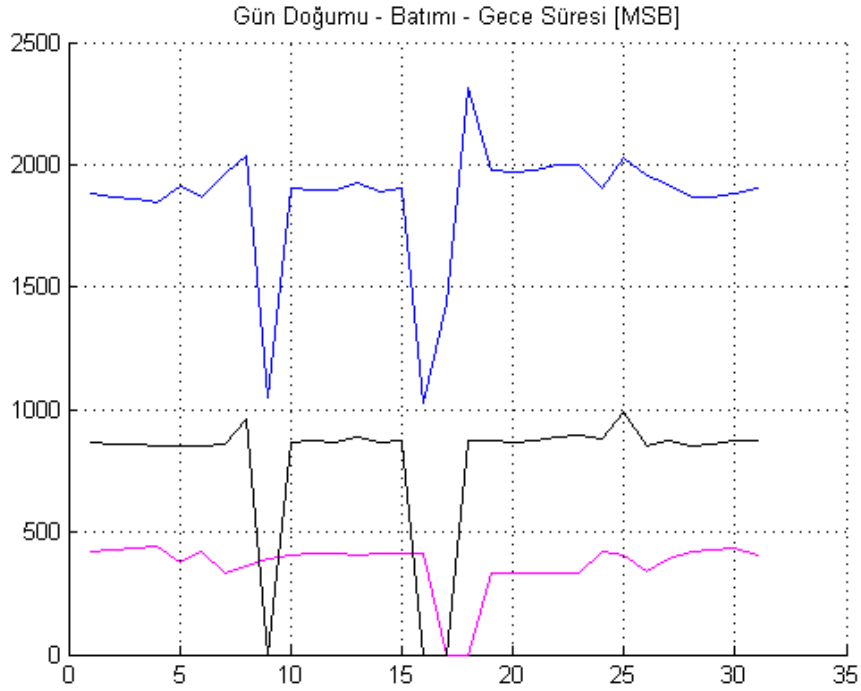
Diğer tüm algoritmalarda olduğu gibi bu kontrolde sadece kesim zamanı bölgelerinde yapılmaktadır.



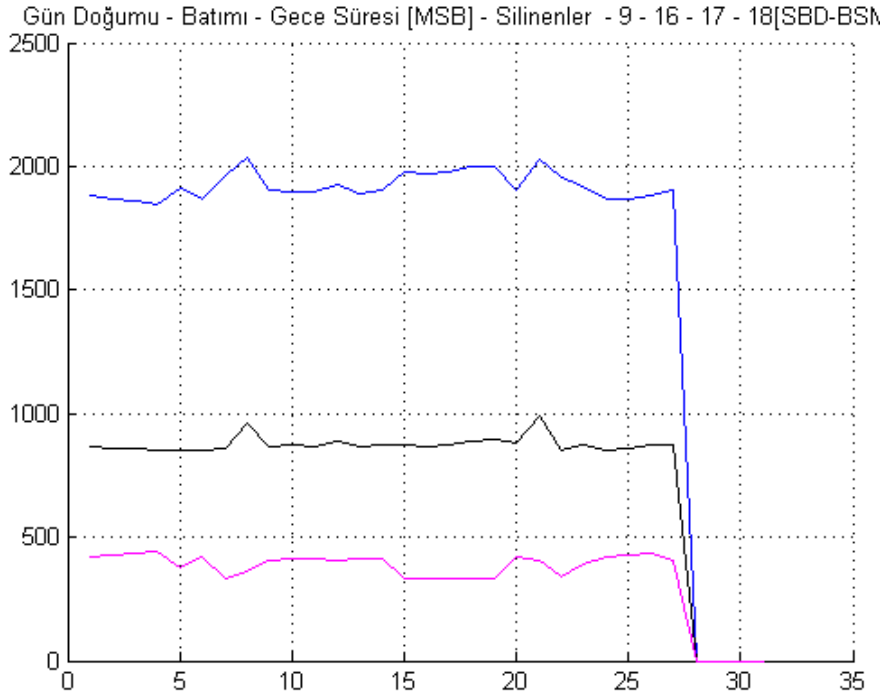
Şekil 6-25 Türeve Bağlı Hata Tespit Algoritması

6.2.2.5.4 Sıfır Geçişleri Tespiti Yöntemi

VLF işaretlerinin tahmin yöntemlerinde kullanılabilmesi için hatalı veya arızalı olarak işaretlenmiş gün verilerinin etkilerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu ise ancak arızalı olan verilerin tespitinden sonra tahmin algoritmalarına girmelerini engellemek ile olacaktır. Bu gereklilik özellikle seri veriler üzerinden değişim takibine dayalı tahmin algoritmalarında önem arz etmektedir. Şekil 6-26’de gün VLF işaretleri içerisinde tespit edilmiş arızalı verilerde bulunmaktadır. Bu arızalı veriler, değişim takibi veya türev takibi yapılmak istendiğinde sonuçları doğrudan uzak yanıtlara götürecektir. Şekil 6-27’de bu durum ortadan kaldırılmıştır. Takibi zorlaştıracak veya anlamı kaydıracak hatalı günlerin tamamı bu tez çalışmasında geliştirilen Hata Tespit algoritması ile seri dışına alınmıştır.



Şekil 6-26 Arızalı gün verileri ile birlikte oluşturulan gün serileri



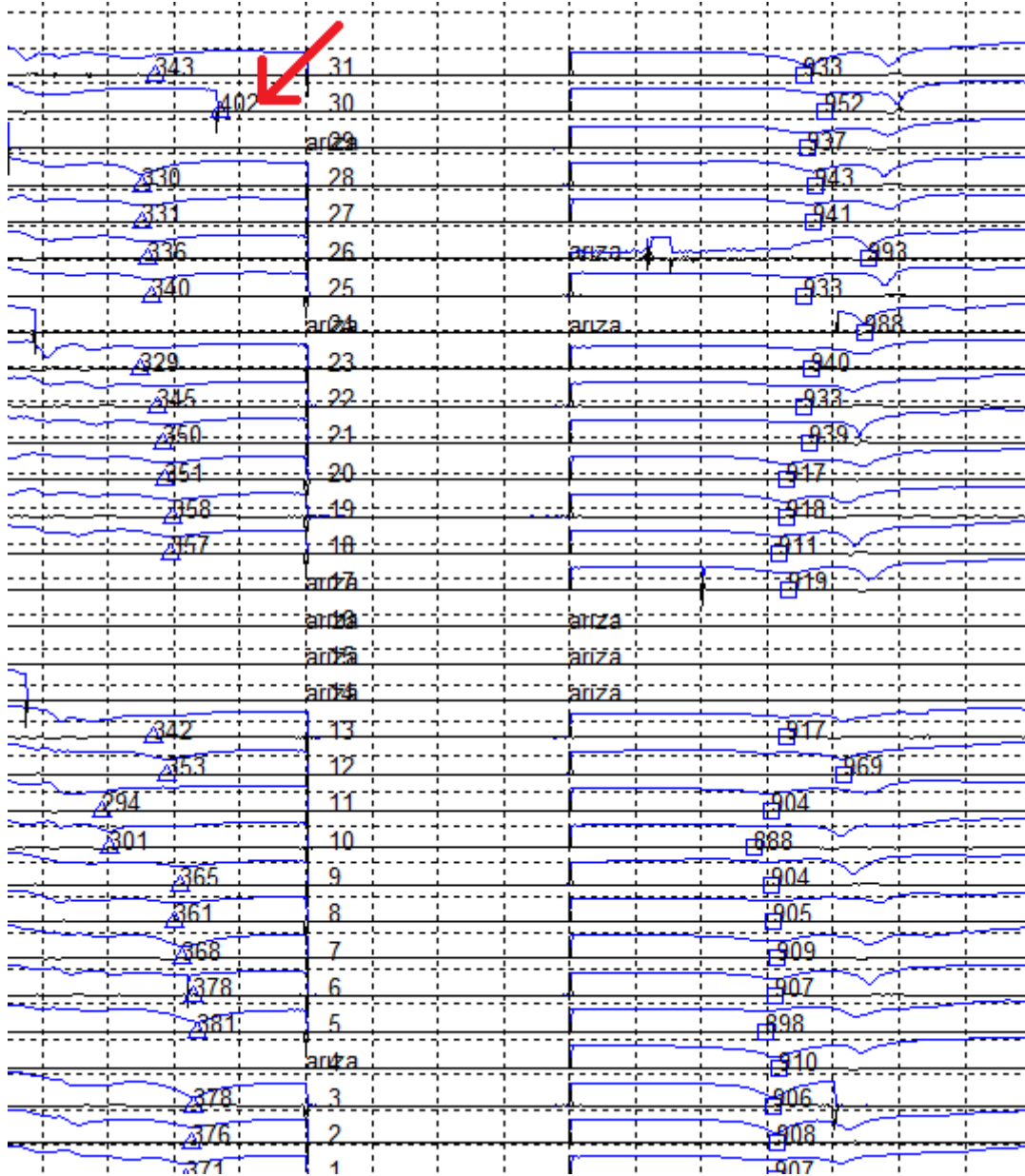
Şekil 6-27 Arızalı günler çıkartılmış şekilde oluşturulan gün serileri

6.2.2.5.5 Hata Tespit Algoritması Başarım Oranı

Anlatılan bu arıza tespit yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olan analiz sonucunda Şekil 6-28’da görüldüğü gibi 62 nokta içerisinde sadece bir arızalı durum yakalanamamıştır. Bu doktora çalışmasında geliştirilen Hata Tespit algoritması yüksek başarıma sahiptir.

6.2.3 Tahmin Algoritması

Bu tez çalışmasında öncü haberci tahmini ile ilgili bir yeni yöntem önerilecektir. Bu yöntem, depremlerin gerçekleşmesinden önceki 15-30 gün içerisindeki gece sürelerinin değişimlerinin mutlak toplamalarının bir limit değerini aşması halinde deprem ihtimali üzerine kuruludur. Bu bölümde geliştirilen algoritmanın adımları ayrıntıları ile verilmiştir.



Şekil 6-28 Arıza tespit hata sonuç oranı 1/62

6.2.3.1 Hazır Veri Dosyasının Okunması

Tahmin algoritmalarının çalışmasını sağlayacak veriler, ham veri dosyalarından değil veri madenciliği yöntemleri kullanılarak işlenmiş VLF işaret dosyalarından temin edilmektedir. Literatürde önerilen diğer uygulamaların tamamı, ham veri kümesi üzerinde çalışıyor olmanın getirdiği dezavantajlar ile karşılaşmaktadır.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen algoritmanın bir diğer yeniliği verilerin kullanılır hale getirilmesini sağlayan Elde Etme algoritmalarına sahip olmasıdır. Bu algoritmalar sonucunda yeniden elde edilen *_Veriler.MAT dosyaları üzerinden sistem çalışacaktır.

Sistem düzenli çalıştığı takdirde bir ay için yaklaşık olarak 4GB veri üretmektedir. Deprem incelemek veya daha sonra yapılacak olan Yapay Sinir Ağı – Genetik Algoritmalar teknikleri ile gerçekleştirilecek uygulamaların, bu veri kümesi üzerinde hareket etmesi çok zor ve uzun sürecektir.

Tezde yapılan çalışmanın bir ayağı olan verilerin sıkıştırılması, ileride yapılacak olan çalışmalar için önemli bir kolaylık sağlayacaktır. Örneğin verilerin YSA ile tahmini üzerine yapılacak olan bir çalışma en az birkaç yıllık doğru veri üzerinden yapılan eğitim ile gerçekleştirilebilecektir. Böyle bir durumda algoritmanın onlarca gigabayt veri üzerinde çalışılması gibi bir durum ortaya çıkar ki bu çok büyük sıkıntıları doğuracaktır.

6.2.3.2 Önemli Parametrelerin Tespiti

Tezde gerçekleştirilen algoritma için önemli parametreler, VLF işaret bölgelerinden tespit edilen kesim zamanlarıdır. Bu bölgeler içerisinde tahmini sağlayacak parametrelere ulaşılmaya çalışılacaktır. Bu önemli parametreler, literatürde kullanılan gün doğumu ve gün batımı kesim zamanlarıdır. Bu parametrelere bağlı olarak birkaç yöntem uygulanarak bilinen yöntemlerden karma cevap üretilmesi önerilmektedir.

6.2.3.3 Tahminin Oluşturulması

Deprem öncü habercileri üzerinden, bilinen literatür yöntemleri ile tez çalışmasında geliştirilen bir yöntemin ortak oluşturacağı tahmininin diğer tüm tahmin yöntemlerinden daha güvenilir cevaplar elde edilecektir. Bu bağlamda, tahmin için geliştirilen algoritmaların uygulama ortamına aktarımı büyük veri yığınları ile çalışılan bu alanda, yapılan araştırmalara önemli katkı sağlayacaktır.

Ancak bu uygulama ortamına aktarım çok kolay değildir. Gözle yapılan inceleme sonucu elde edilen gün kestirim parametrelerinin algoritmik olarak karar mekanizmalarının geliştirilmesi ve yüksek doğrulukla çalıştırılması gerekmektedir.

6.2.3.4 Kullanılan Tahmin Yöntemleri

Tahmin için geliştirilen yazılımda kullanılan algoritmalar, temel olarak bazı yöntemlere bağlı geliştirilmiştir. Bu yöntemler, güneşin doğuşu ve batışına üzerinden kesim zamanı, gece süreleri zamanı ve aritmetik ortalama aşımı yöntemi, önemli parametrelerden öncü 7'li hafıza tahmin yöntemi ve 2σ hesabı yöntemi olarak sıralanabilir.

6.2.3.4.1 Güneşin Doğuşu ve Batışına Üzerinden Kesim Zamanı Tespiti Yöntemi

Bu yöntem parametrik olarak bulunan kesim zamanı değerlerine bağlı olarak sonuç üretmektedir. Şekil 6-14'de gösterilen 1 ve 2'nolu genlik değer kaybı noktaları algoritmik olarak tespit edilmeli ve tahmin oluşturacak algoritma ayağına bilgi sağlanmalıdır. Burada zor olan nokta tespittir. Nokta tespiti için aşağıdaki algoritmik sıra takip edilir.

6.2.3.4.1.1 Güneşin Doğuşu Kesim Zamanı Tespiti

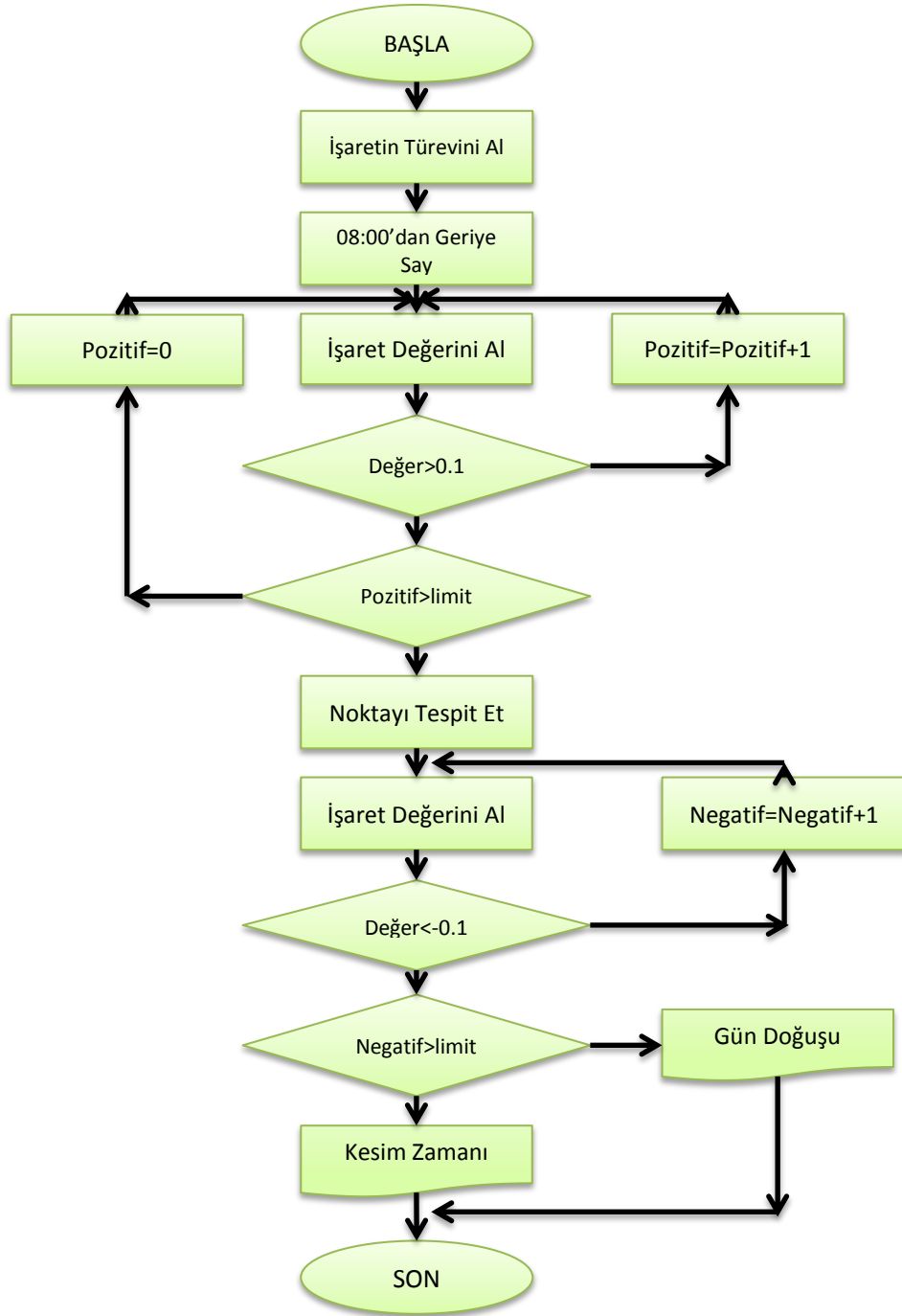
Genişin doğuşundan evvel VLF işaretinin genliklerinde bir dip değer oluşmaktadır. Bu güneşin iyonküre üzerindeki ani iyonizasyon değişimlerinden doğan kayıplarla açıklanabilir. Noktanın tespiti için işaret kaydının kesildiği 08:00 zaman dilimi seçilmiştir. Bu zaman dilimden geriye işaret takip edilmektedir. Bu takip genlik değişimi üzerinden yapılır. Genlik değerinin üzerinden dip tespiti yapılabilmesi için işaretin türevine ihtiyaç vardır. İşaret türev alındıktan sonra dip tespiti karar mekanizması çalışmaktadır. Mekanizmanın adımları;

- **İşaretin Türevi:** İşaretin anlamlandırılabilmesi için türev alma işlemi yapılır.
- **08:00'dan Geriye İşaret Takibi:** İşaretin dip yaptığı en yakın noktanın tespiti için türev değeri üzerinden geriye doğru takip yapılır.
- **Pozitif Değer Say:** Geriye doğru gidildiğinde işaretin dip yapıyor olması demek, zaman eksininde artıyor olması demektir. Bu ise pozitif türev değeri anlamına gelir. Nokta tespiti için 0.1 değeri üzerindeki pozitif değerler saydırılmaktadır.
- **Sfır Kontrol:** Herhangi bir anda 0 geçişi yaşandığı takdirde, limit derecesinin üzerinde pozitif değer saymış ise Negatif sayacı devreye

girmektedir. Eğer yeterince pozitif türev değeri saymadan 0 geçişi yaşanmışsa işaret ya arızalıdır ya da ani değişim yaşanmıştır. Pozitif sayacı sıfırlanmalı ve tekrar baştan başlamalıdır.

- **Negatif Değer Say:** Pozitif değer sayma limit şartı gerçekleştikten sonra negatif limit şartı aranmaya başlanmaktadır. Saydırma işlemi limit değerine ulaşana kadar veya sıfır geçişi yaşanan kadar devam etmektedir. Eğer limit aşımı gerçekleşmişse bir önceki sıfır geçişi dip nokta yani Gün doğumu kesim zamanı olarak ifade edilecektir.

Şekil 6-29'da bu tez çalışmasında geliştirilen güneşin doğuşu kesim zamanı tespiti algoritmasına ait akış diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 6-29 Güneşin doğuşu kesim zamanı tespiti akış diyagramı

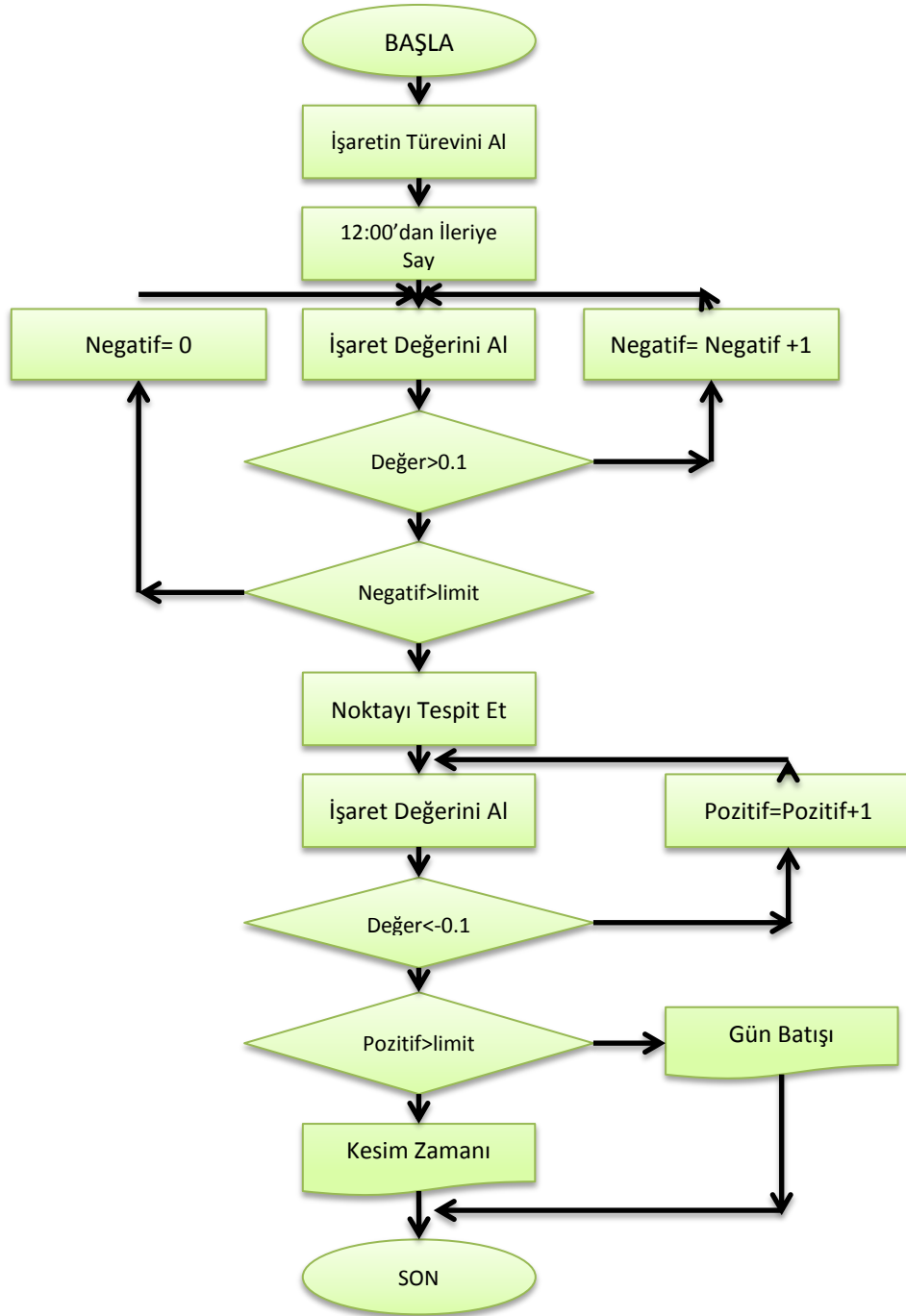
6.2.3.4.1.2 Gün Batışı Kesim Zamanı Tespiti Yöntemi

Güneşin batışına doğru VLF işareti üzerinde yine güneşin hareketinden doğan ani iyonlaşmadan dolayı genlik değerinde kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıpları işaret üzerinde dip noktaları oluşturur. Gün batımı kesim zamanı tespiti için 12:00'dan itibaren işaretin

türevi üzerinde takip yapılmalıdır. Gün doğuşu kesim zamanı tespiti için kullanılan yöntemin tersi gerçekleştirilecektir. İşaret ilerlerken dip yapabilmesi için türevin negatif olarak bir süre devam etmesi gerekir. Bu limit süre aşıldıktan sonra tekrar bir düzende ve belirli bir sürede işaret artış göstermesi gerekir. Bu durumun tespiti için türev değerlerinin limit sınırlar içerisindeki hareketleri takip edilmelidir. Gün doğuşunun tespiti için gerçekleştirilen algoritmanın aynısı burada da gerçekleştirilecektir. İşaretin türevi alınır ve aşağıdaki işlem basamakları tatbik edilir.

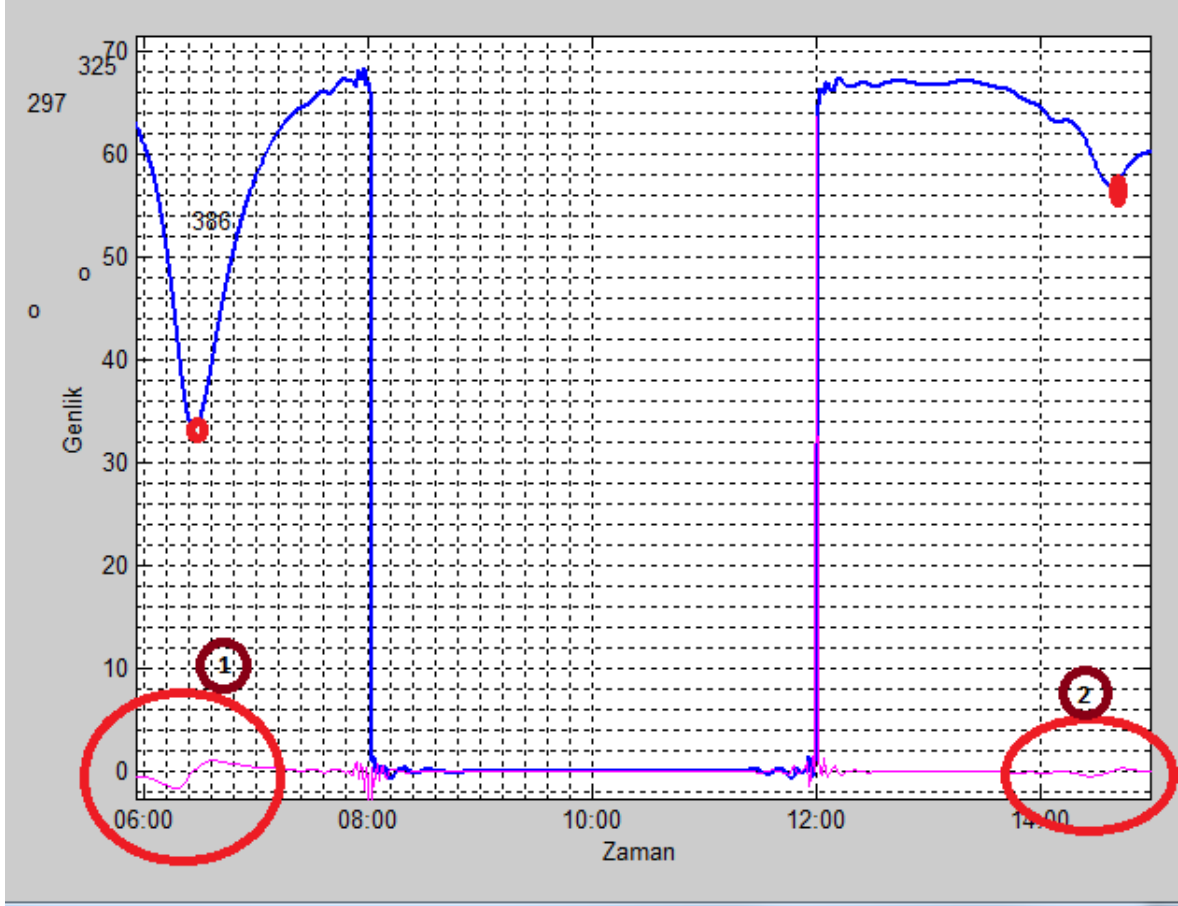
- **İşaretin Türevi:** Anlamlandırma için işaretin türev alma işlemi yapılır.
- **12:00'dan İleriye İşaret Takibi:** İşaretin dip yaptığı en yakın noktanın tespiti için türev değeri üzerinden ileriye doğru takibi yapılır.
- **Negatif Değer Say:** İleriye doğru hareket edildiğinde dip yapıyor olması demek, işaretin zaman eksininde azalıyor olması demektir. Bu ise negatif türev değeri anlamına gelir. Nokta tespiti için -0.1 değeri üzerindeki negatif değerler saydırılmaktadır.
- **Sıfır Kontrol:** Herhangi bir anda 0 geçişi yaşandığı takdirde, limit derecesinin üzerinde negatif değer sayılmış ise pozitif sayacı devreye girmektedir. Eğer yeterince negatif türev değeri saymadan 0 geçişi yaşanmışsa işaret ya arızalıdır ya da ani değişim yaşanmıştır. Negatif sayacı sıfırlanmalı ve tekrar baştan başlamalıdır.
- **Negatif Değer Say:** Negatif değer sayma limit şartı gerçekleştikten sonra pozitif limit şartı aranmaya başlanmaktadır. Saydırma işlemi limit değerine ulaşana kadar veya sıfır geçişi yaşanan kadar devam etmektedir. Eğer limit alımı gerçekleşmişse bir önceki sıfır geçişi dip nokta yani Gün batışı kesim zamanı olarak ifade edilecektir.

Şekil 6-30'de bu çalışmasında önerilen güneşin batışı kesim zamanı tespiti algoritmasına ait akış diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 6-30 Güneşin batışı kesim zamanı tespiti akış diyagramı

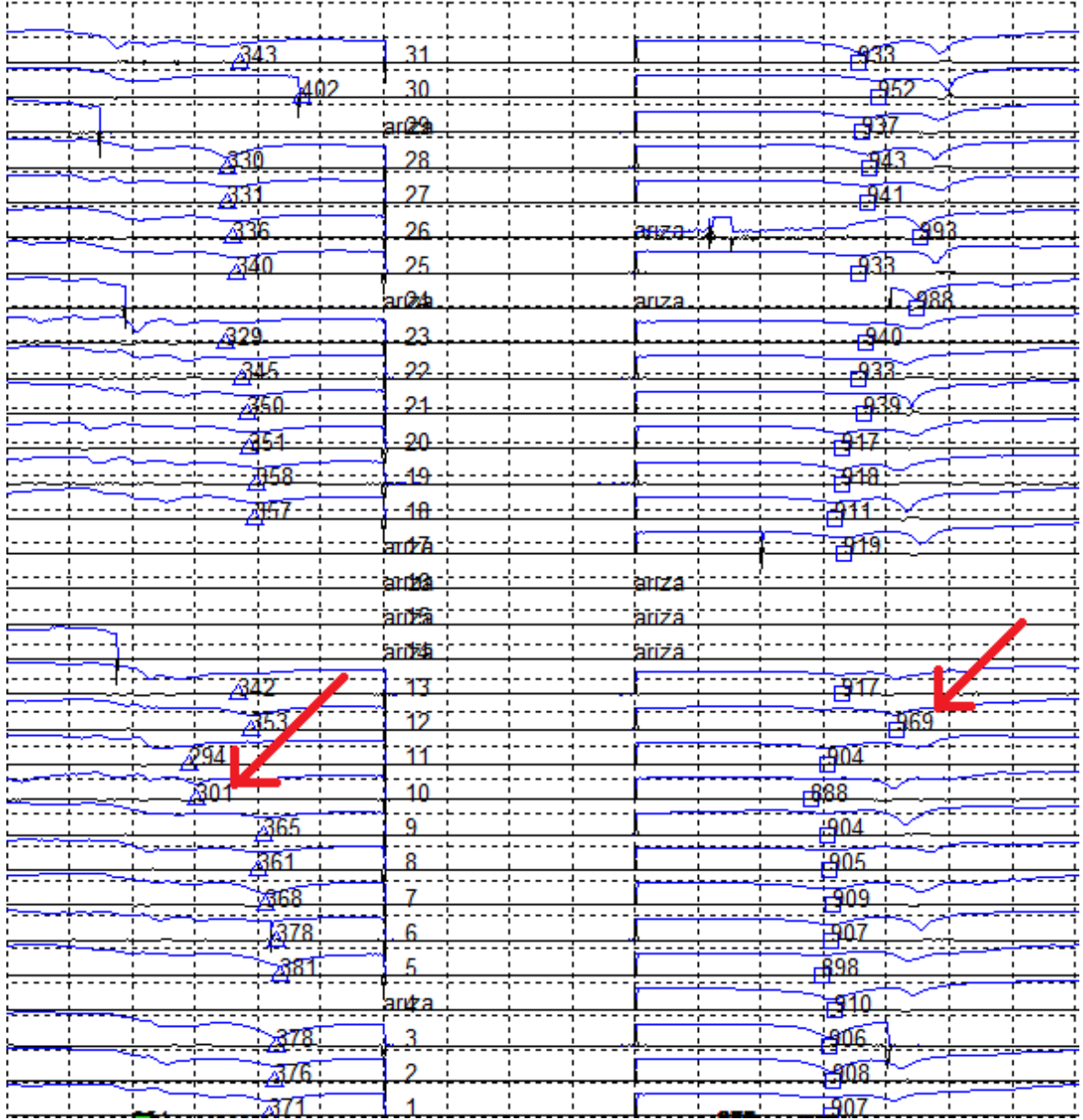
Şekil 6-31’de işaretin türevi üzerinden kesim zamanının tespiti ifade eden resim görülmektedir. 1 ile gösterilen kısım gün doğumunu 2 ile gösterilen kısım gün batımını temsil etmektedir. 0 değeri üzerinde salınım yapan işaret VLF işaretinin türevidir. Bu türev değeri yukarıda anlatıldığı gibi bir davranış sergilemektedir.



Şekil 6-31 İşareti türev ile kesim zamanı tespiti

6.2.3.4.1.3 Kesim Zamanı Tespiti Algoritması Başarım Karşılaştırması

Geliştirilen algoritma ile sakin gün verileri üzerinde yapılan testte yaklaşık 51 işlem içerisinde sadece kesim zamanı olarak 3 nokta hatalı bulunmuştur. Sistem hata oranı 3/51'dir. Bu hataların kaynağını anlamak için algoritmanın akışı tam olarak anlaşılmalıdır. Algoritmada örneğin 1 noktası ile gösterilen gün doğumu kesim zamanının tespiti, belirli bir ivmede gerçekleşen düşüş ve neredeyse aynı oranda gerçekleşen yükselişle sağlamaktadır. Eğer bu düşüş ve yükseliş miktarı olması gerekenden az olur ise yani değişim hissedilebilir sınırlarda değil ise kesim zamanı tespiti yapılamayacaktır. Geliştirilen algoritma, vericilerin susması ile oluşan gürültü bilgisinin Hata Tespiti algoritmasında elenmesini sağlamaktadır. Şekil 6-32'de kesim zamanı tespit edilen işaretlerin resmi görülmektedir. Ok işaretleri ile gösterilen noktalar hatalı olarak bulunmuştur.

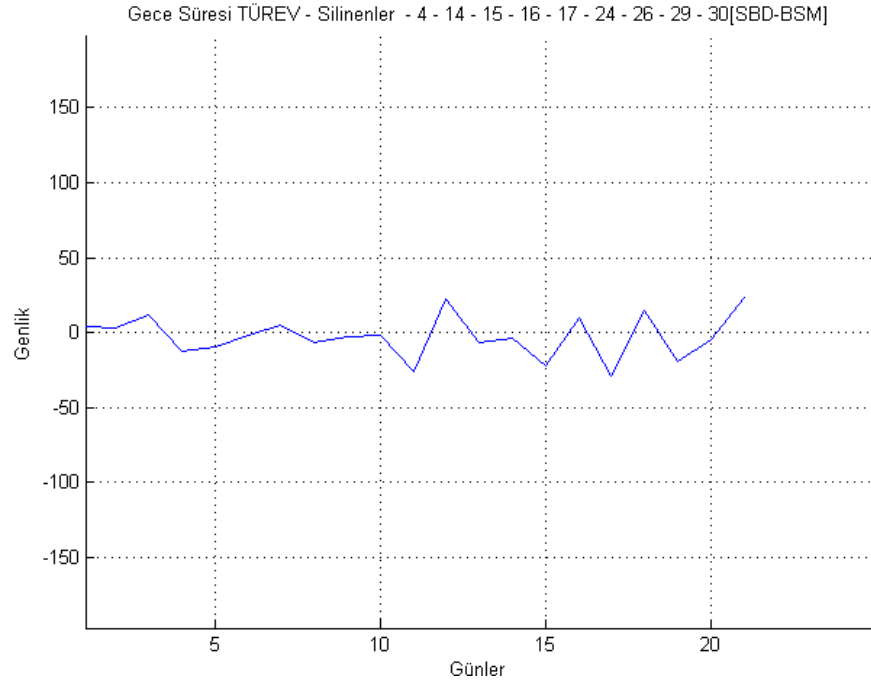


Şekil 6-32 Kesim zamanı başarımlı oranı 3/51

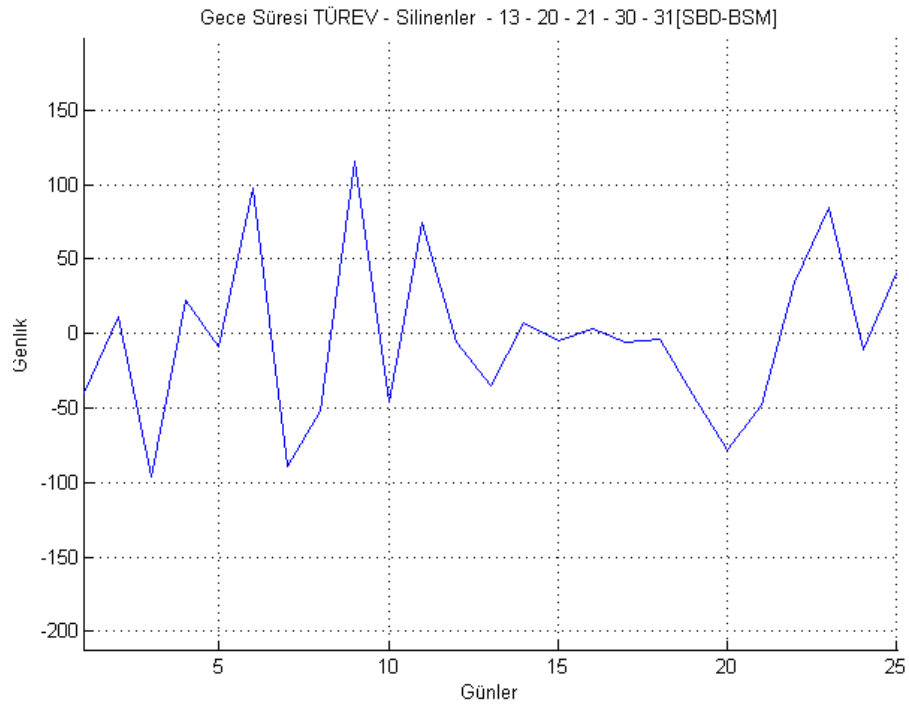
6.2.3.4.2 Gece Süreleri Zamanı ve Aritmetik Ortalama Aşımı Yöntemi

VLF işaretlerinin gün kaymaları sonuç olarak gece sürelerinde de değişikliklere sebep olmaktadır. Bazı gün verilerinde bu değişim, deprem habercileri arasında daha belirgin bir şekilde sonuç üretmektedir. İncelenen depremlerde gece süreleri, sakin gün verilerinde karmaşıklıkların yaşanmadığı görülmesine rağmen deprem öncesi ve sonrası günlerde gece sürelerinde dalgalanmalar görülmektedir.

Bu dalgalanmaların depremlerle olan ilişkisine bağlı olarak algılanması için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma vasıtasıyla gece sürelerindeki değişimi takip etmek için hazırlanmış olan algoritma ayağı, gece sürelerinden elde edilen işaretin türev değişkenin incelemektedir.

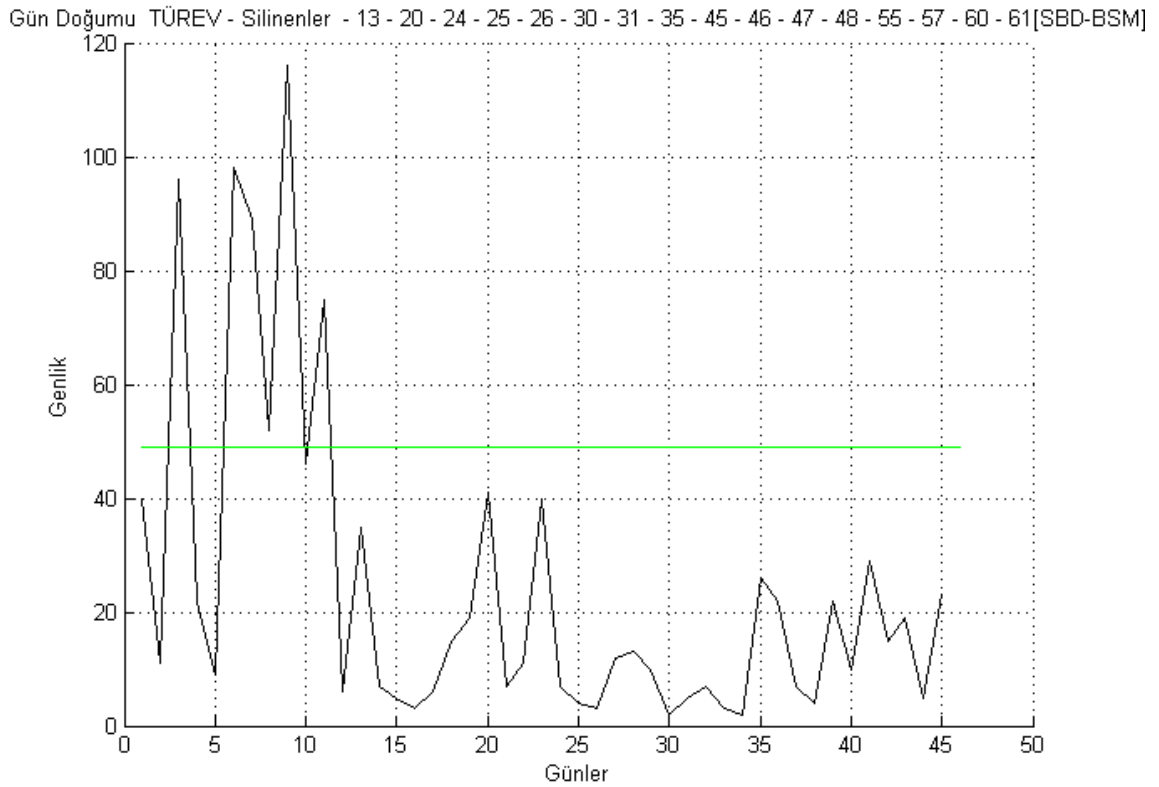


Şekil 6-33 Sakin gün gece süresi türev değerleri



Şekil 6-34 Depremin gerçekleştiği ay için gece süresi türev değeri

Şekil 6-33’de sakin gün verilerinden oluşturulmuş bir gün serisi görülmektedir. Bu seri, deprem olan bir ay serisi ile karşılaştırıldığında değişimleri çok yoğun yaşandığı bir grafik görülebilecektir. Depremi gerçekleştirdiği 14 ve 20 Şubat 2008 tarihlerine ait olan gün serileri Şekil 6-34’da gösterilmiştir. Bu işaretlerin arızalı olanlarının hariç tutulduğu bir türev alındığında deprem belirtisi teşkil edecek öncü haberciye ulaşılmaktadır. Şekil 6-35’de bu haberciye ifade eden bir grafik bulunmaktadır. Her iki ayın düzgün verilerinin gece süresi değişimlerinin mutlak değerleri alınmaktadır. Bu mutlak değerler aritmetik ortalamaya alınmaktadır. Aritmetik ortalamaya alınan bu değerlere göre gece süresi değişim grafiği çizilmektedir. Bu grafikte aritmetik ortalamanın iki katını aşan değerler için öncü haberci denilecektir.



Şekil 6-35 14 Şubat 2008 Yunanistan Depremi – Şubat ve Mart ayları arızalı günler hariç türevleri

Şekil 6-35’de verilen grafik incelendiğinde Şubat ve Mart ayı sakin günler ile oluşturulan işaret, ortalama değer ile belirlenmiş limiti sadece deprem öncesindeki günlerde aşmıştır.

6.2.3.4.3 Önemli Parametrelerden Öncü 7'li Hafıza Tahmin Yöntemi

VLF işaretlerinde gün doğumu, gün batımı ve gece sürelerinde yaşanan değişimler, gerçekleşen deprem günü ile ilişkili bir salınım gösteren önemli parametrelerdir. Bu salınım, deprem öncesi ve sonrasını kapsamaktadır. Oluşan zaman kaymaları, her gün için farklılık göstermektedir. Bu durumda deprem öncü haberci tespitine yönelik algoritma geliştirebilmek için inceleme yöntemini, gün dönmeleri ve gece süreleri baz alan farklılık analizleri üzerine kurmak gerekir.

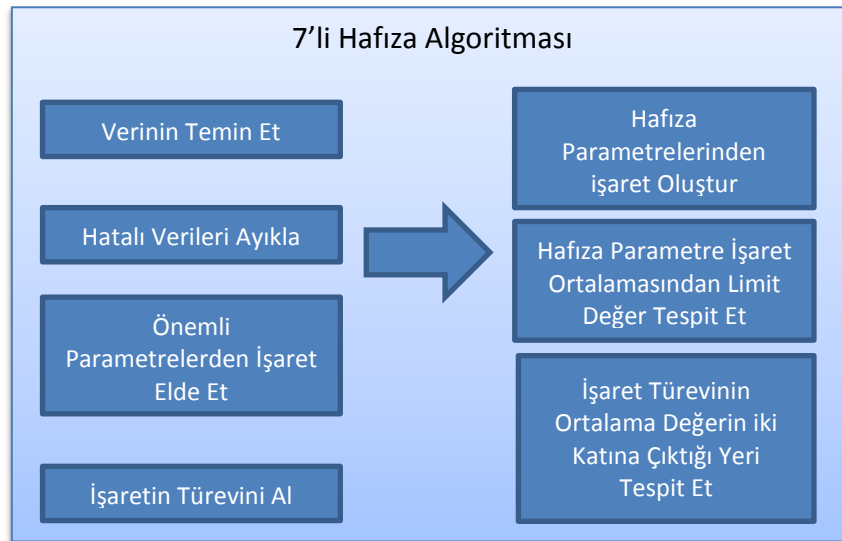
Tez çalışmasında literatürde bilinen yöntemlerine ek olarak, veri kaynağı yine kesim zamanları olan yeni bir analiz yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem günler arasındaki değişim boyutları üzerine bina edilmiştir. Seri olarak devam eden değişimler arasındaki farklar bir öncü haberci olma olasılığı olarak değerlendirilmektedir. Tez çalışmasında geliştirilen yazılım vasıtasıyla bu yöntem uygulanabilir bir algoritmaya dönüştürülmüştür.

Bu yöntem uygulanabilmesi için en az bir aylık temiz ve hatasız VLF işaretlerinden elde edilmiş gün doğumu, gün batımı ve gün sürelerinden oluşturulmuş parametrelere ihtiyaç vardır. Yöntemde, bu verilerin değişimleri takip edilir. Değişim değerlerin belirli limitleri aşıyor olması deprem öncesi ve sonrasına yayılmaktadır. Deprem öncü haberci tespit kararının verilebilmesi için her bir gün verisinin kendinden önceki 7 gün boyunca yaşanan değişimlerin toplamından oluşturulan bir değer ile deprem öncü haberci olasılık parametresi oluşturulmaktadır. Bir öncü haberci, deprem oluşumundan önceki bir kaç gün içerisinde belirginleşmesi gerekmektedir. Bu yöntem güne ait deprem ihtimalini ifade eden hafızaya sahip bir parametrenin değişimine bağlı cevap üretmektedir. Algoritma aşağıdaki şekilde çalışmaktadır.

- **3 Aylık Veri Temini:** Tüm VLF işaretleri ile gün doğumu, batımı ve gece süresi verileri kullanılarak algoritma sürülmelidir. Bu verilerin oluşturduğu işaret üzerinden tahmin yapılacaktır.
- **Arızalı veya Hatalı Verilerin Ayıklanması:** Hata Tespit algoritması tarafından işaretlenmiş arızalı verilerden oluşturulmuş olan değişkenden çıkarılmaktadır. Böylece farkların üzerinden tahmin yürütme prensibine bağlı çalışan algoritmanın hatalı sonuç üretmesine sebep olacak verilerden sistem arındırılmış olur.

- **İşaretlerin Değişim Eğilimi Tespitleri:** Önemli parametrelerden oluşturulmuş işaretin değişimi, deprem eğilim varlığını hakkında bilgi verebilmektedir. Burada önemli parametrelerden oluşturulmuş işaret türevi ile değişim eğilimi ifade eden yeni bir eğilim işareti elde edilir.
- **Gün Hafıza Parametrelerinin Oluşturulması:** Öncü haberciler depremlerden önceki 15 ile 7 gün arasındaki zaman dilimlerinde ortaya çıkmaktadır. Hafıza parametreleri her bir güne ait deprem ihtimal sayısı türetebilmek için, önceki 7 günün önemli parametrelerinden oluşturulmuş farkların aritmetik ortalamalarından türetilmektedir.
- **Limit Değer Tespiti:** Hafıza değerlerinin aritmetik ortalamasından limit değer tespiti yapılmaktadır. Bu aritmetik ortalamanın iki katı limit değeri ifade eder. Değişimlerin limit değer ilişkisi tahmin üretimi için geçerli olacaktır.
- **Tahmin Üretimi:** Tahmin, önemli parametrelerden oluşturulmuş olan işaretin türevi ile limit değerin aşıldığı yere göre yapılmaktadır. Bu limit değeri türevin hafızalı aritmetik ortalama değerinin iki katı olarak hesaplanmaktadır. Sakin günlerde bu değer aşılmıyorken, deprem öncesi ve sonrasında değer limit çizgisini aşmaktadır. Limit aşıldığı günler olası deprem alarmı vermektedir.

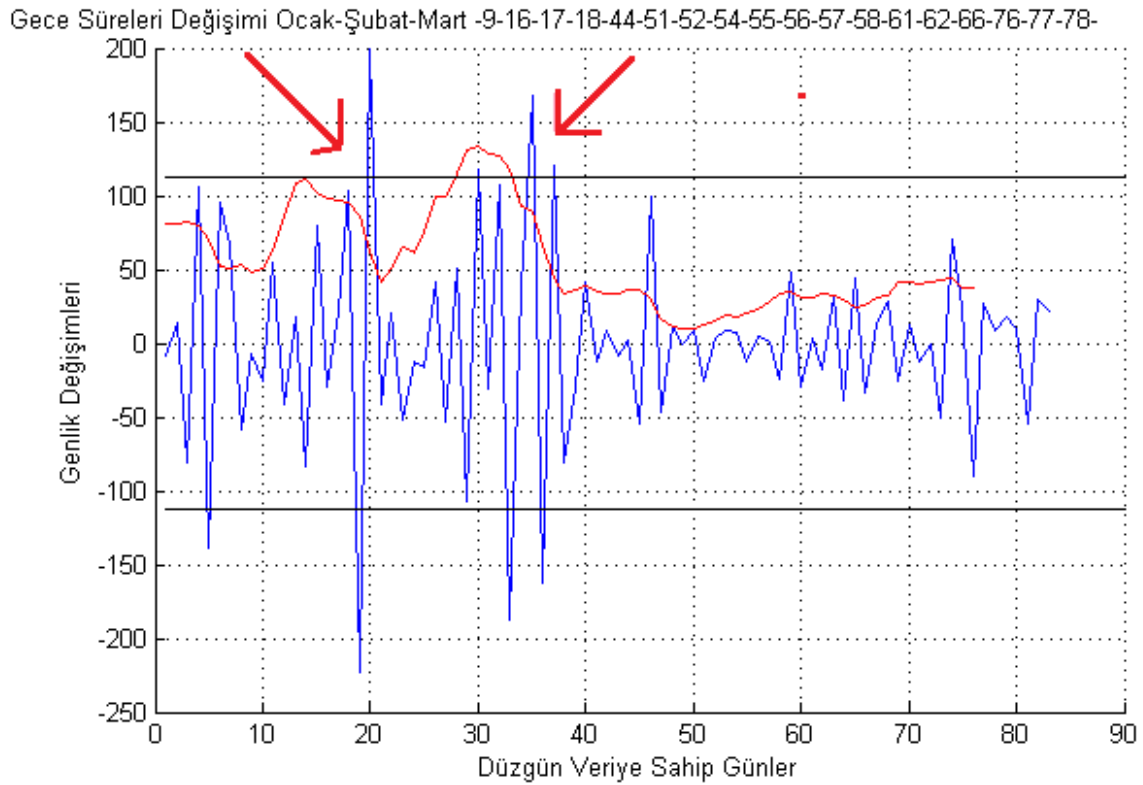
Şekil 6-1 ‘de 7’li Hafıza Algoritması için akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 6-36 7’li Hafıza algoritması

Şekil 6-37’de önemli parametrelerden biri olan gece sürelerinin türevi çizilmiştir. Bu türev değeri işaretin değişim eğilimi hakkında bilgi verecektir. Bilgi algoritmada belirtilen hafıza değerlerini üretmek için kullanılmaktadır. Bu hafıza değerinde elde edilen aritmetik ortalamanın iki katı limit değer olarak grafikte çizdirilmiştir. Bu değer sadece depremden önceki günlerde aşılmıştır. Sakin günlerde ise değer ortalamanın altında kalmıştır. Grafik arızalı günlerin çıkarılmış olduğu 3 aylık veri dizisi ile oluşturulmuştur. Grafik başlığında çıkarılmış günlerin seri numaraları verilmiştir.

Bu algoritma sadece gün dönümü kaymalarının gerçekleştiği veri kümelerinde kullanılmalıdır. Aksi durumda sakin gün verileri için hesaplanmış ortalama değer hatalı sonuç üretecektir.



Şekil 6-37 7'li Hafıza algoritması ile öncü tespiti

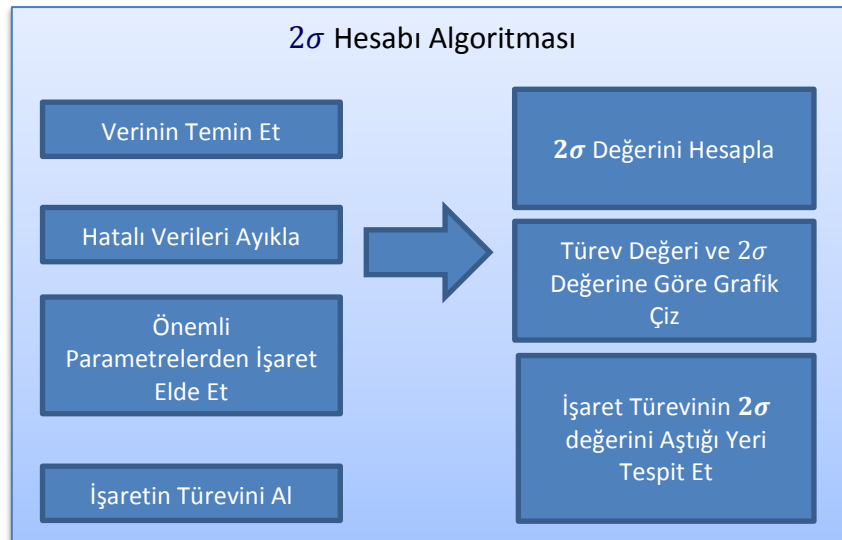
6.2.3.4.4 2σ Hesabı Yöntemi

Önemli parametrelerden hesaplanan türev işareti ile tahmin yapılmaya çalışılmaktadır. Bu parametrelerden elde edilen standart sapma değerinin aşımı kontrolü yapılacaktır. İşaret sakin günlerde standart sapma değerinden çok uzak bir değerde kalırken, depremde

önceki günlerde türev değeri standart sapmaya ya çok yakın ya da bu değerin üzerinde bir değere sahip olmaktadır.

- **Veri Temini:** 1 ay için gece sürelerinden bir veri kümesi hazırlanmalıdır.
- **Arızalı veya Hatalı Verilerin Ayıklanması:** Hata Tespit algoritması tarafından işaretlenmiş arızalı veriler, oluşturulmuş olan değişkenden çıkarılmaktadır.
- **İşaretin Türevi:** Gece sürelerinin değişiminden oluşturulmuş işaretin türevi üzerinden tahmin algoritması çalıştırılacaktır.
- **Tahminin Limit Değerinin Hesaplanması:** Depremlerin öncü habercilerinin belirlenmesi için türevin aşılmasının kontrol edileceği limit değeri hesaplanmalıdır. Bu limit, işaretin standart sapma değerinin iki katıdır.
- **Tahmin Üret:** Tahmin, gece süresi türev işareti ile limit değerinin aşıldığı yere göre yapılmaktadır. Sakin günlerde bu değer aşılmıyorken, deprem öncesi günlerde limit değer ya aşılmakta veya çok yaklaşılmaktadır. Limit aşıldığı günler için olası deprem alarmı verilmektedir.

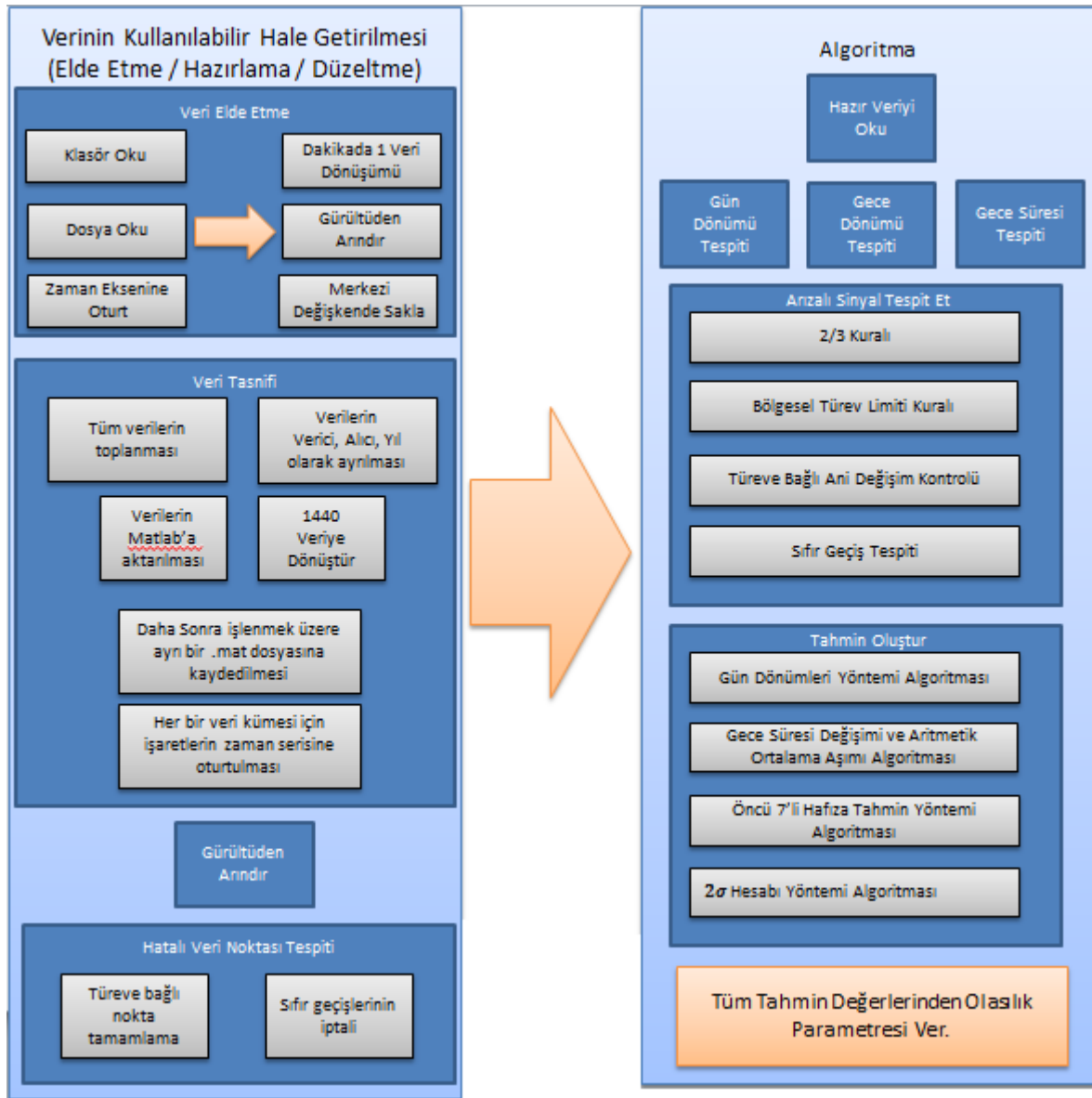
Şekil 6-38’da standart sapma değeri baz alınarak oluşturulmuş olan deprem öncü haberci tahmin algoritması akış diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 6-38 2 σ Hesabı algoritması

6.3 Uygulama Yazılımı ve İncelenen Deprem Sonuçları

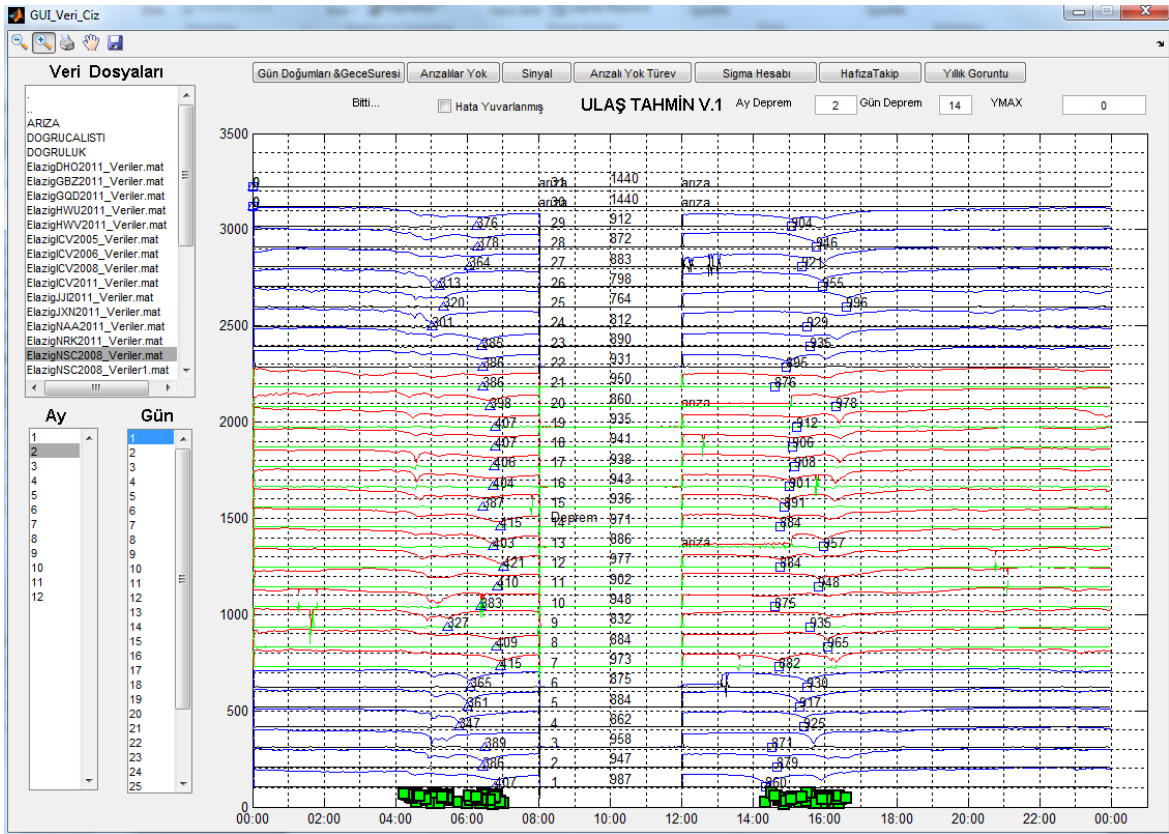
Uygulama, tez çalışmasında gerçekleştirilen algoritmanın tüm ayaklarını yöneten ve yürüten bir yapıda tasarlanmıştır. Amaç deprem öncü tahmini gerçekleştirecek algoritmaların sayısal verilerin üzerinden canlı tahminleri yapacağı bir yapıyı ortaya koymaktır. Bu amaç ile belirlenmiş birkaç algoritmanın canlı çalışması için gerekli tüm adımların oluşturulduğu yazılımsal alt yapı geliştirilmiştir. Şekil 6-39'da tez çalışmasında geliştirilen tüm algoritmaların akış diyagramına dökülmüş hali verilmiştir.



Şekil 6-39 Tüm algoritmaları içeren akış diyagramı

Var olduğu bilinen yöntemlerin, canlı cevap üretecek sistemlerde çalıştırılacak algoritmalara sahip olması gerekmektedir. Aksi halde yığın halindeki anlamsız verinin faydalı sonuçlar üretebilmesi imkansızdır.

Tez çalışmasında geliştirilen yazılım ile deprem öncü habercileri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu öncüler üzerinden ise ortak bir tahmin değeri oluşturulacaktır. Bu kapsamda gerçekleştirilen algoritmayı süren bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın arayüzü Şekil 6-40’de verilmiştir.



Şekil 6-40 Algoritmayı koşturan yazılım arayüzü

Tez çalışmasında geliştirilen uygulamanın ayakları anlatılmıştır. Uygulamanın çalışabilmesi için verilerin Elde Etme algoritmasından geçip işlenmiş VLF işaretlerinin üretilmesi gerekmektedir. Uygulama arayüzünün sol üst tarafında, işlenmiş VLF işaretleri dosyaları görülmektedir. İncelenmek istenen depreme göre buradaki veri dosyalarından bir seçilmektedir.

Her veri dosyası 12 ay ve 31 gün mantığı ile ayrı işaret bilgilerine sahiptir. İstenilen ayın istenilen gününe listelerden seçim yapılarak ulaşılabilecektir. Yazılım grafiklerin aylık

olarak topluca ve günlük olarak çizimlerini yapabilmektedir. Her iki yolla da seçilen işaretlerin gün batımı ve gün doğuşu geliştirilen algoritmalarla tespit edilmekte ve grafiklerde gösterilmektedir. Bu gösterilen önemli parametreler tahmin algoritmalarında kullanılmak üzere yarı *.MAT dosyalarında tasniflenmektedir. Ara yüzün üzerinde tahmini gerçekleştirecek alt m-file'ları çalıştıracak butonlar bulunmaktadır. İstenilen algoritma çalıştırılarak tahmin değeri görülebilmektedir.

6.3.1 14 Şubat 2008 M6.9 Yunanistan Depremi NSC Vericisi

Deprem 14 Şubat 2008 de Yunanistan'ın güneyinde M6.9 ve M6.5 olarak 4 saat arayla iki defa gerçekleşmiştir. Deprem yüzeysel bir depremdir. 20 Şubat 2008 'de ise M6.2 şiddetinde üçüncü bir deprem daha gerçekleşmiştir. Deprem seçimi alıcı ve verici pozisyonları ve deprem şiddetine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deprem alıcı ve verici durumları incelendiğinde fresnel alanı içinde olduğu Şekil 6-41'de görülmektedir.

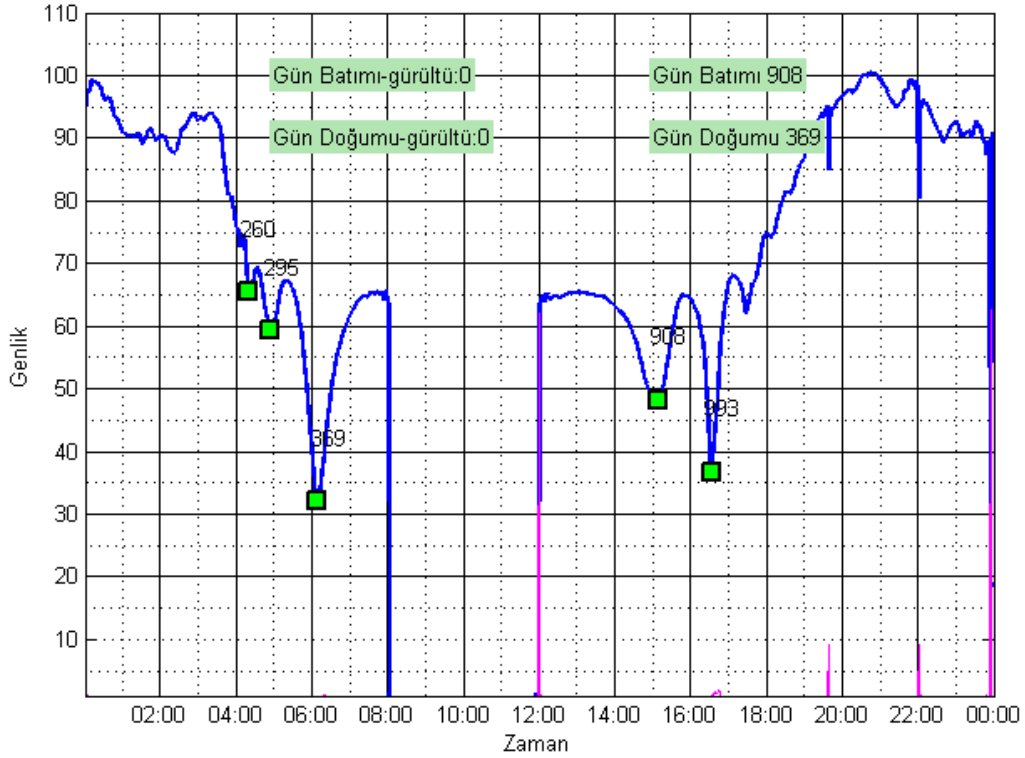


Şekil 6-41 14-20 Şubat Yunanistan depremi ve seçilen alıcı, vericiler

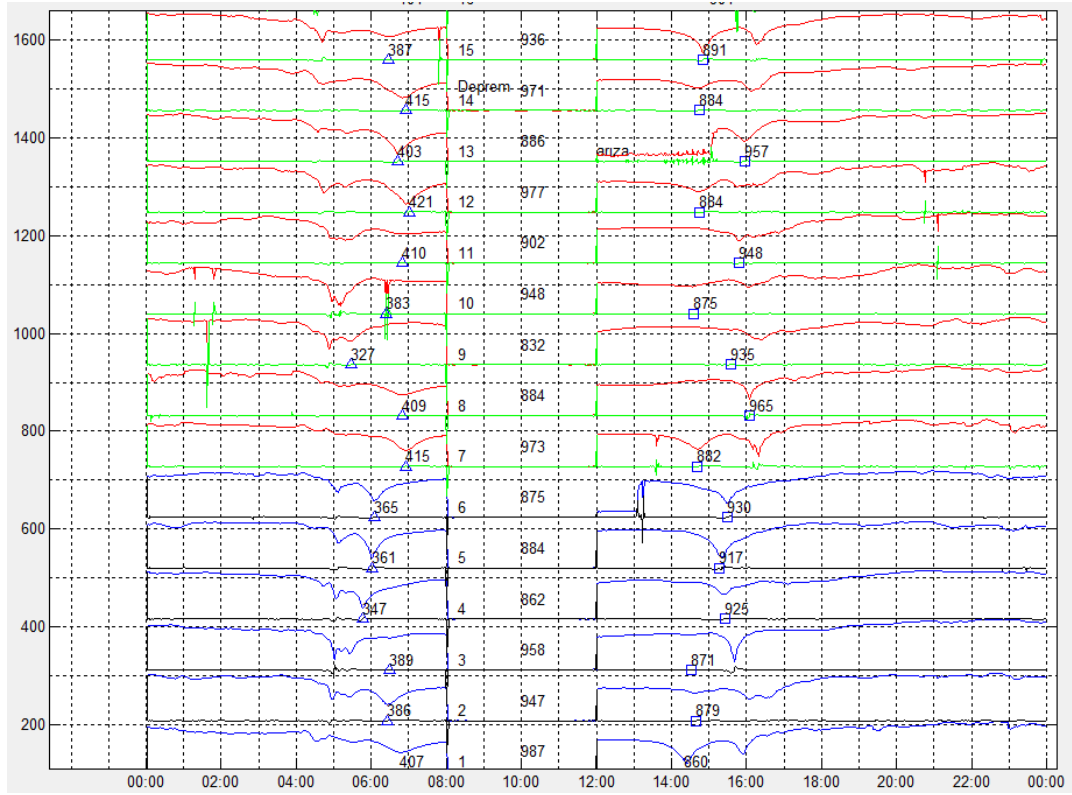
Bu deprem üzerinde Elde Etme algoritması çalıştırılmıştır. Bu algoritma ham veri dosyasından sıkıştırılmış VLF işaretlerini bir *_Veriler.MAT dosyasına kaydetmiştir. Bu değişimlerin algoritmik olarak anlaşılır sonuçlara dönüştürülmesi için yazılımın diğer fonksiyonları çalıştırılmalıdır.

VLF işaretlerinden kesim zamanlarının doğru tespit edilmesi kritik öneme haizdir. Hatalı tespit edilecek olan bir kesim zamanı, yanıltıcı bir deprem tahmin sonucu üretecektir. İşaretlerin üzerinden kesim zamanı tespit eden algoritmanın çalışma sonuç

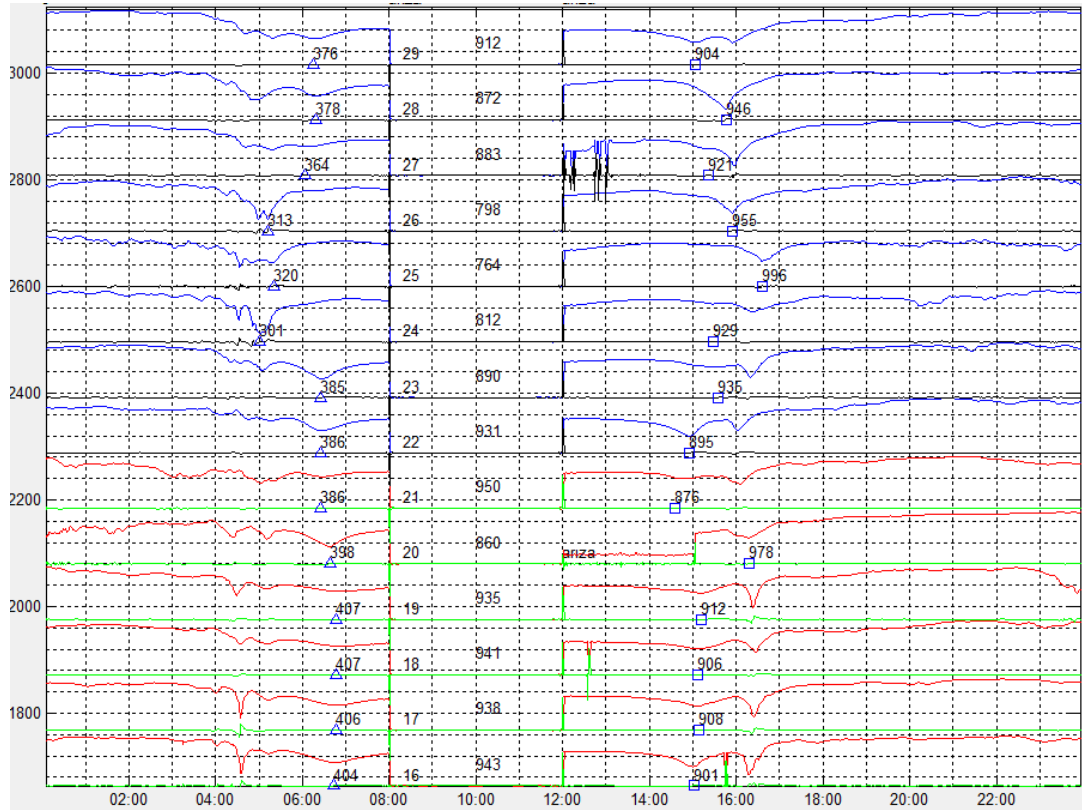
Şekil 6-42’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada çalışan algoritma her işaret için dip noktalardan olası kesim zamanları tespit etmektedir. Bu tespit edilen noktaların kayıt kesilmesine yakın olan zaman aralığında olan ilki gün doğuşu kesim zamanını, kayıttın tekrar başladığı noktadan ileriye ilki ise güneşin batışı kesim zamanını tanımlamaktadır. Bu kesim zamanları algoritmalar vasıtasıyla bulunmaktadır.



Şekil 6-42 Kesim zamanları tespit edilmiş VLF işareti

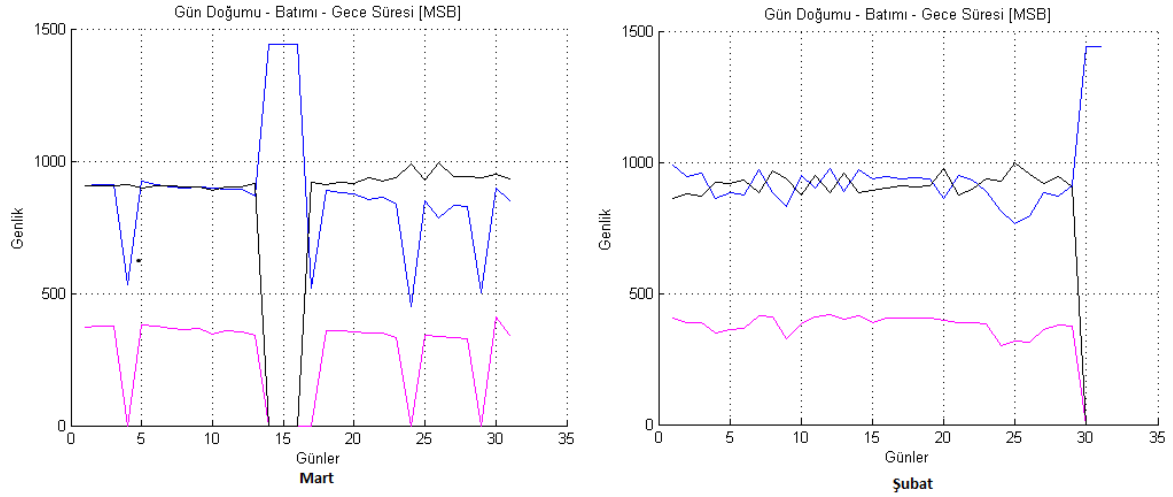


Şekil 6-43 01-15 Şubat 2008 VLF İşaretleri ve kesim zamanları



Şekil 6-44 16-29 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları

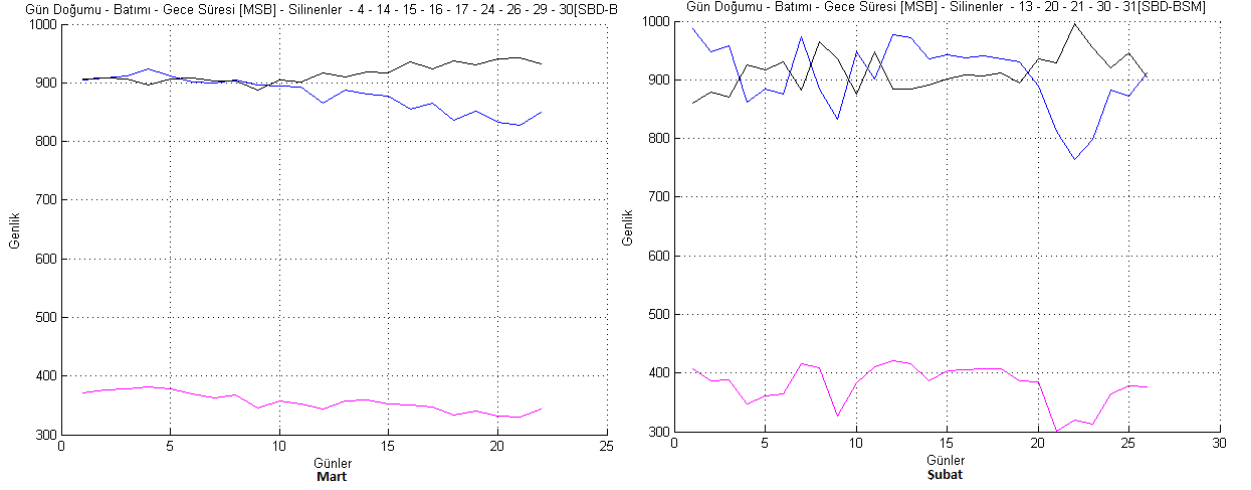
Şekil 6-43 ve Şekil 6-44’de VLF işaretleri kesim zamanları ile birlikte gösterilmiştir. İşaretlerin kesim zamanları takip edildiğinde 14 ve 20 Şubat’a doğru kesim zamanlarında kaymalar gece sürelerinde değişimler gözlenmektedir. Şekil 6-45’de hatalı gün verilerinden temizlenmemiş gün doğumu, batımı ve gece süreleri değerleri grafik olarak çizilmiştir. Deprem şubat ayında gerçekleşmiştir. Mart ayı ise sakin geçmiş bir aydır. Bu durum işaret karakteristiklerine de yansımıştır.



Şekil 6-45 Temizlenmemiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri

Ancak temizlenmemiş veri kümesinde hatalı olan veriler yanıltıcı sonuçlar doğurmaktadır. Hata Tespit algoritması ile seçilmiş olan arızalı VLF işaretleri veri kümesinden çıkarılarak çizilecek bir grafik, bahsi geçen deprem habercisi değişimlerinin daha net ortaya koyacaktır.

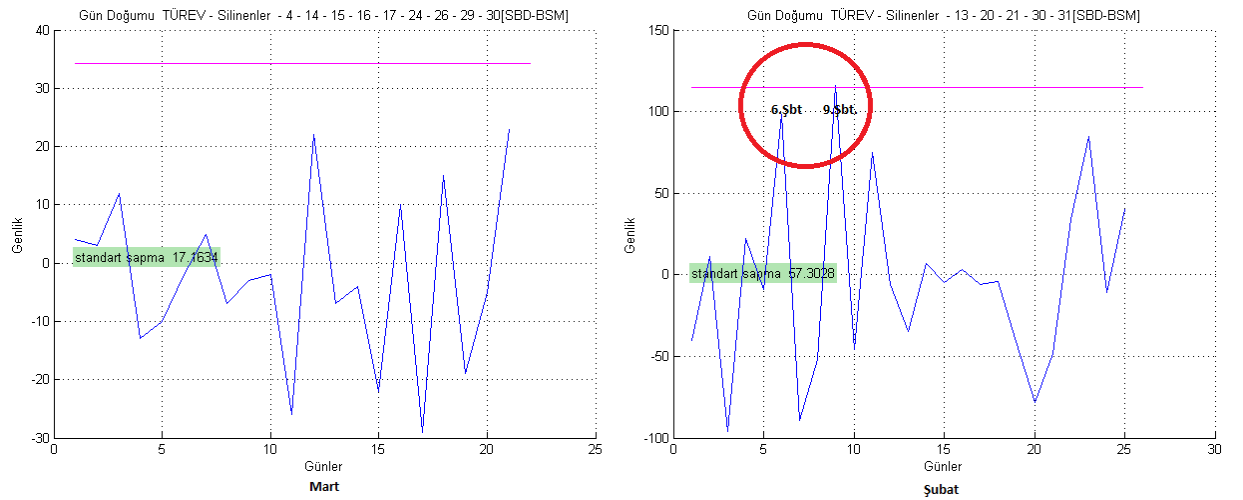
Şekil 6-46’da arızalı olarak seçilmiş VLF işaretlerinin değerleri sonucu etkilememek için kaldırılmıştır. Grafik incelendiğinde şubat ayında işaretin önemli parametrelerin değişimi yoğun bir şekilde yaşanmış olduğu görülmektedir. Ancak sakin geçen Mart ayında önemli parametrelerin seri bir şekilde küçük değişimlerle, mevsimsel düşüşler yaşadığı görülmektedir.



Şekil 6-46 Temizlenmiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri

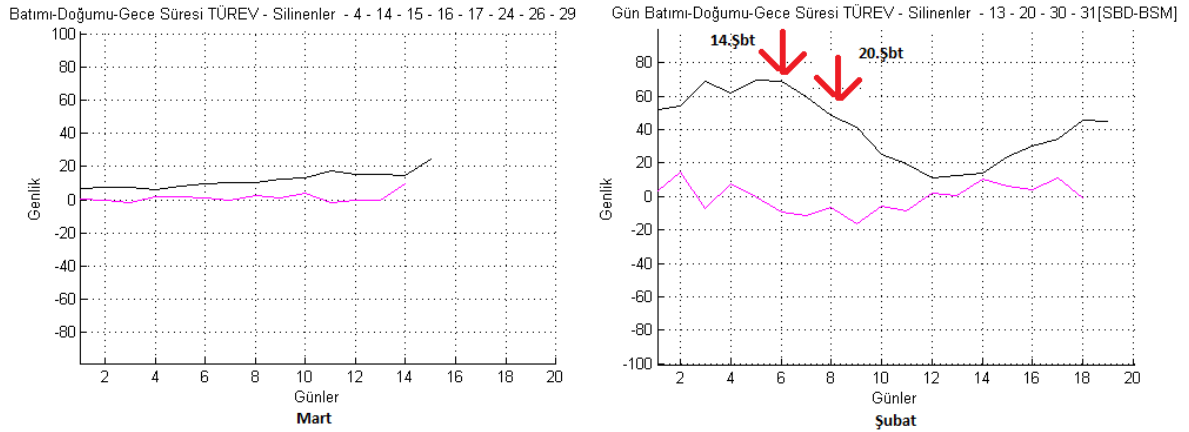
Karakteristik olarak öncü habercilerin gün dönümlerinde yaşadıkları kaymalar takip edileceği için, algoritma türev üzerine kurulmuştur. İşaretlerin ve önemli parametrelerden oluşturulmuş olan veri kümesinin türevleri deprem habercisi bilgisi barındırmaktadır.

Şekil 6-47’de gece süresi üzerinden bir tahmin gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Sakin Mart ayında elde edilmiş standart sapma değeri, işaretlerin değişimin çok üzerindedir. Şubat ayında yapılan kayıtlardan elde edilen sonuçların 6 ve 9 Şubat tarihlerinde standart sapma değerine aştığı veya çok yaklaştığı görülmektedir. Bu değişim eğilimi bir salınım halinde son deprem olan 20 Şubat tarihinden sonrada görülmüştür.



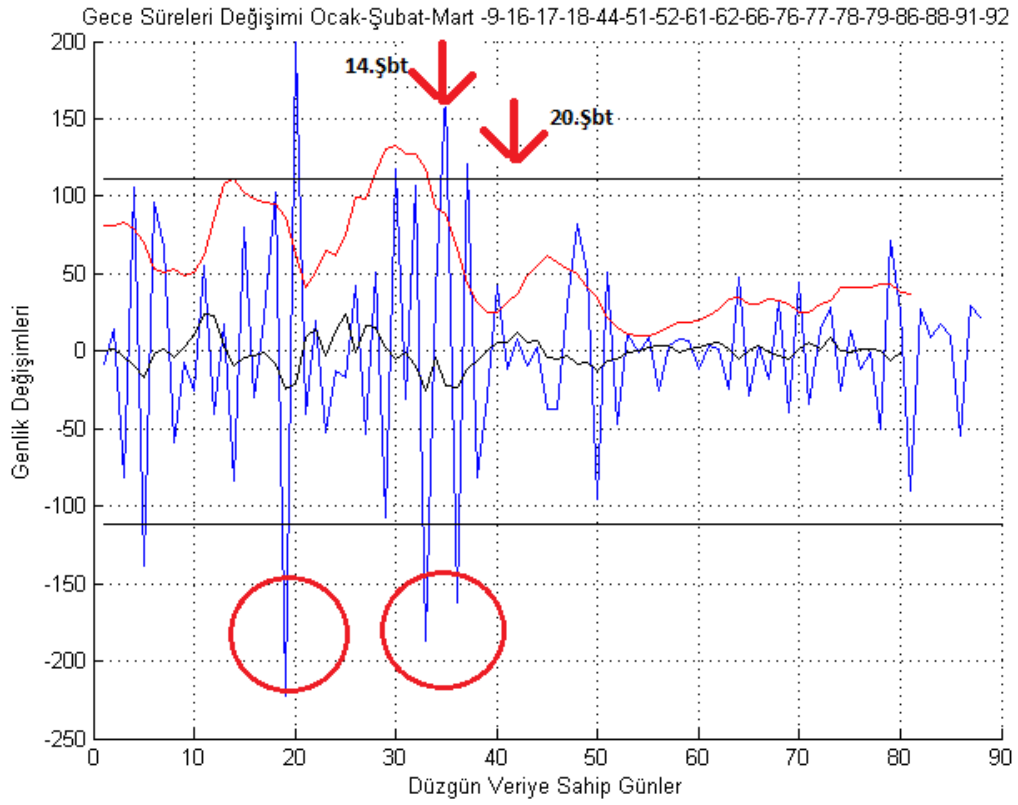
Şekil 6-47 2σ Testi sonuçları

VLF işaretleri üzerindeki deprem habercileri, önceki günlerde gerçekleşen zaman kaymalarından çıkarılmaktadır. Bu hafızalı bir algoritmaya ihtiyaç olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu hafıza veri kümesi her bir önemli parametre için verilerin kendinden önceki 7 gün verileri ile aritmetik ortalamalarından elde edilmektedir. Şekil 6-48’de Mart ve Şubat ayı için bu hafıza değerleri bir işaret halinde çizilmiştir. İşaret oluşturulurken her gün verisi kendinden önceki 7 gün verisi ile elde edildiğinden ayların ilk 7 gün hafıza değeri hesaplanmadan 8. günden itibaren işaret oluşturulmuştur. Sakin Mart ayında bu değişim hafızası sabit çok düşük değerlerde iken depremin gerçekleştiği Şubat ayında değişim hafızası çok yüksek değere çıkmakta ve depremlerden sonra değerlerde azalma görüldüğü söylenebilmektedir. Burada değişim değerinin en yükselmesi deprem olasılığın artması anlamına gelmektedir.

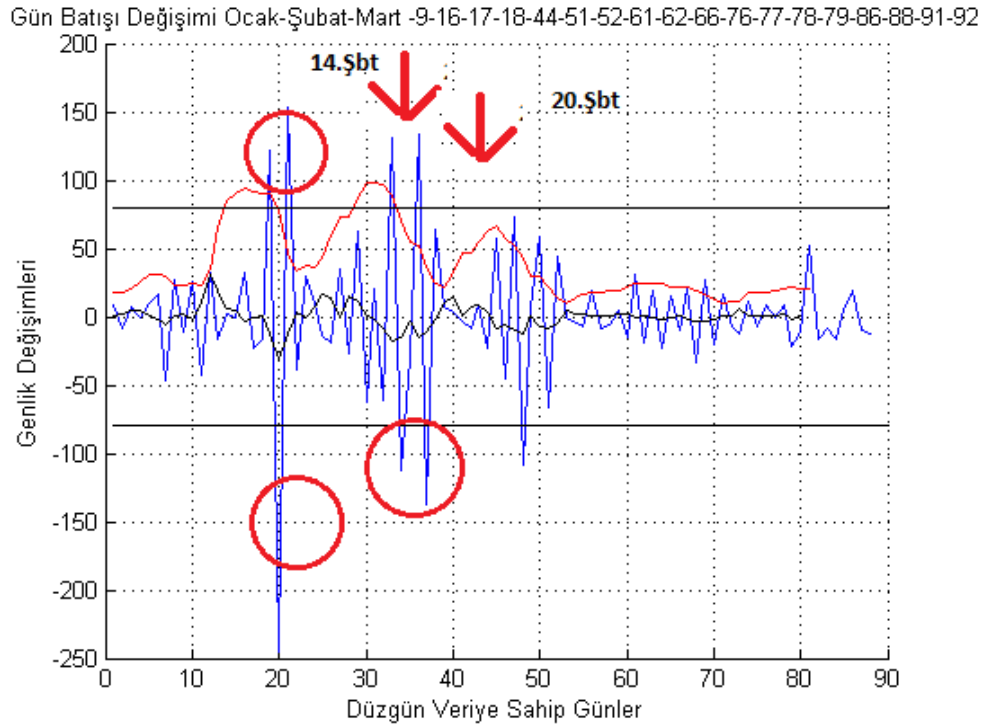


Şekil 6-48 VLF İşaretlerinin hafıza değerleri

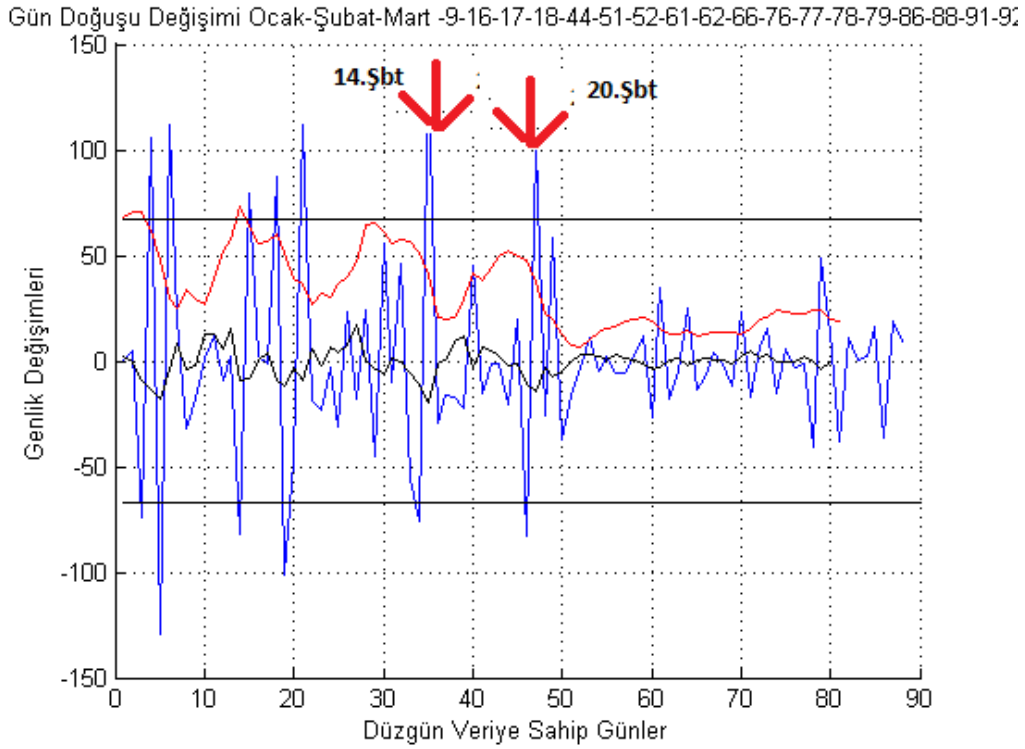
İşaretlerin en iyi sonuçlar alınacak şekilde incelenmesi için birkaç aylık verinin birden algoritmaya sokulması gerekmektedir. Şekil 6-49’de işaretlerin gece sürelerinin değişiminin limit değeri aştığı noktalar görülmektedir. Deprem oluşumundan önceki yaklaşık 15 gün önce işaret değişim eğilimi limit değerin üzerine çıkmaktadır. Şekil 6-50 ve Şekil 6-51’de ise gün batımı ve gün doğuşu üzerinden yapılan tahminler görülmektedir.



Şekil 6-49 3 aylık gece süreleri üzerinden deprem tahmini



Şekil 6-50 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini

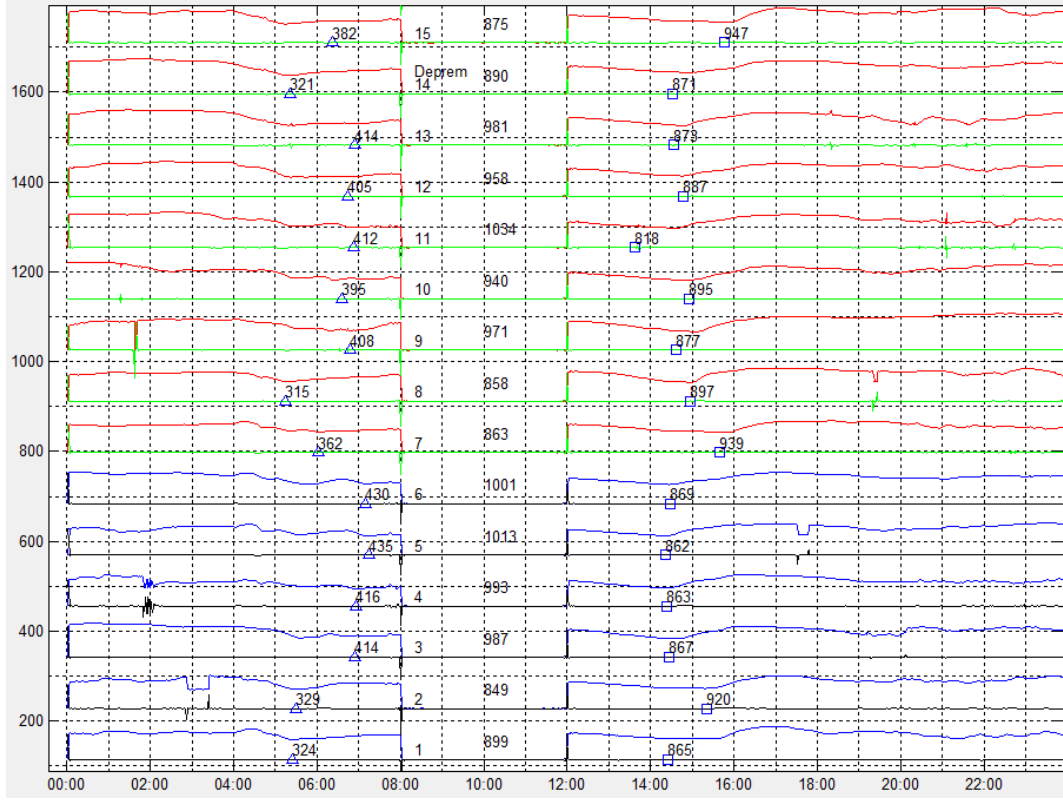


Şekil 6-51 3 aylık gün doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini

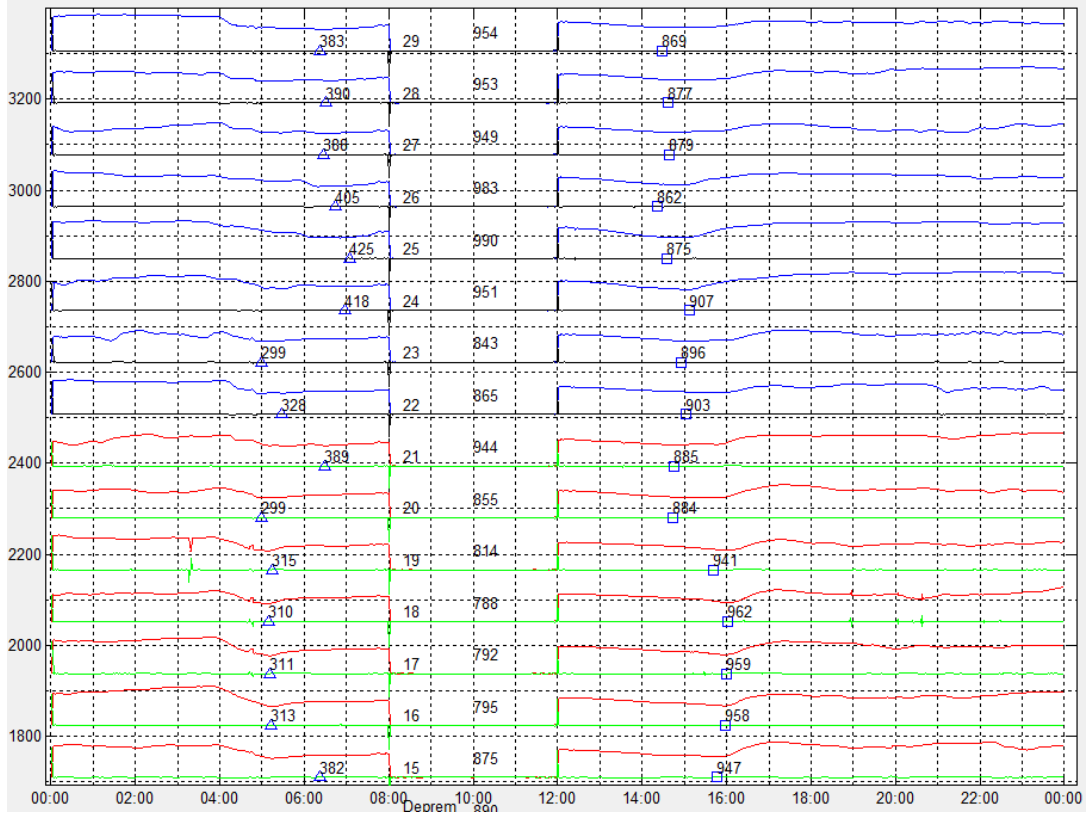
Şekil 6-51’de de görüldüğü gibi tüm tahmin yöntemleri her zaman için doğru sonuç vereceğine dair bir kesinlik yoktur. Gün doğumu üzerine yapılan tahmin bu deprem için Ocak ayında yanıltıcı sonuç vermektedir. Dolayısıyla geliştirilen algoritmanın tüm yöntemlerden oluşturduğu ortak cevap sistemine sahip olması olası yanıltıcı tahminlerin azaltılmasını sağlamaya çalışmaktadır. Şekil 6-35’ yine 14 ve 20 Şubat depremlerini ile ilgili türev ve aritmetik ortalamadan oluşturulmuş limit değeri görülmektedir. Bu değer Şubat ayı içerisinde aşılmasına rağmen Mart ayının sakin geçtiği grafikten görülebilmektedir.

6.3.2 14 Şubat 2008 M6.9 Yunanistan Depremi ICV Vericisi

Gerçekleşen 3 depreme ait ICV vericisinden gelen VLF işaretleri verisi kaydı da yapılmıştır. Bu kayıt altına alınan veriler, Şekil 6-41’de gösterildiği gibi ICV vericisinin de tahmin algoritması için uygun olduğu sonucunu doğrulamaktadır. ICV vericisinden gelen VLF işaretleri veri Elde Etme algoritmasından geçerek *.Veriler.MAT dosyasını oluşturacaktır. Bu dosya öncü haberci tahmini için kullanılan uygulama yazılımına kaynak teşkil edecektir.



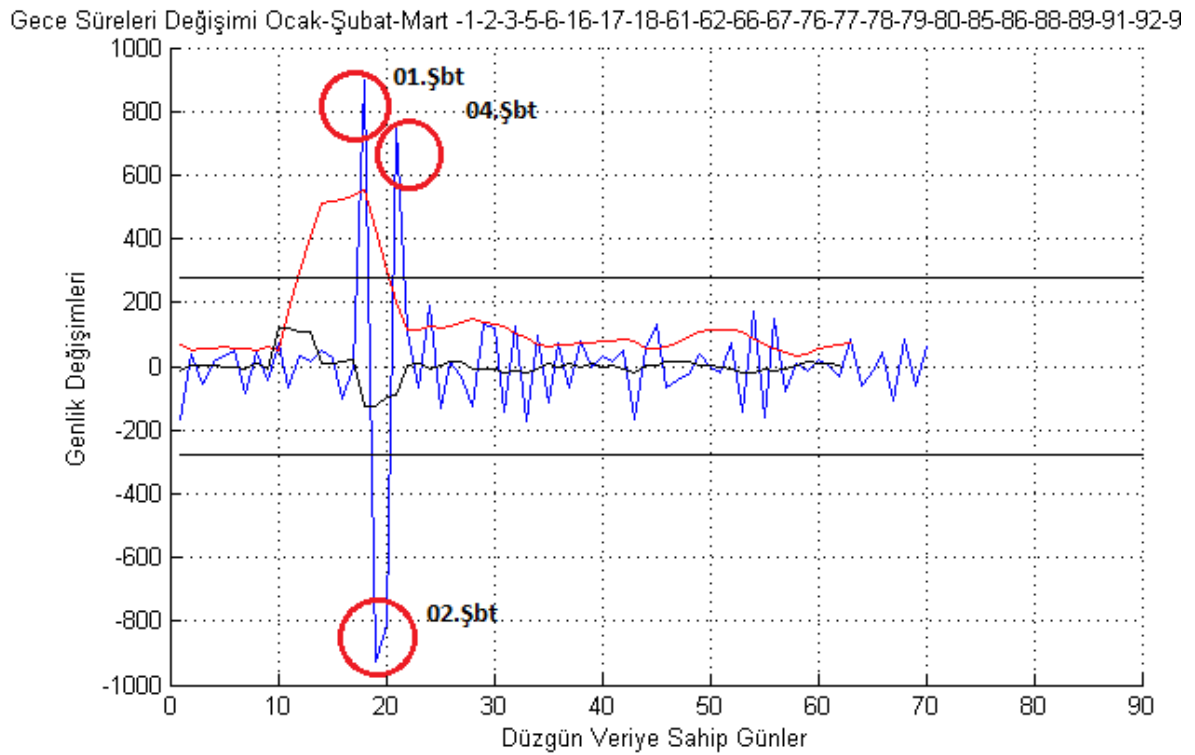
Şekil 6-52 01-15 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları



Şekil 6-53 16-29 Şubat 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları

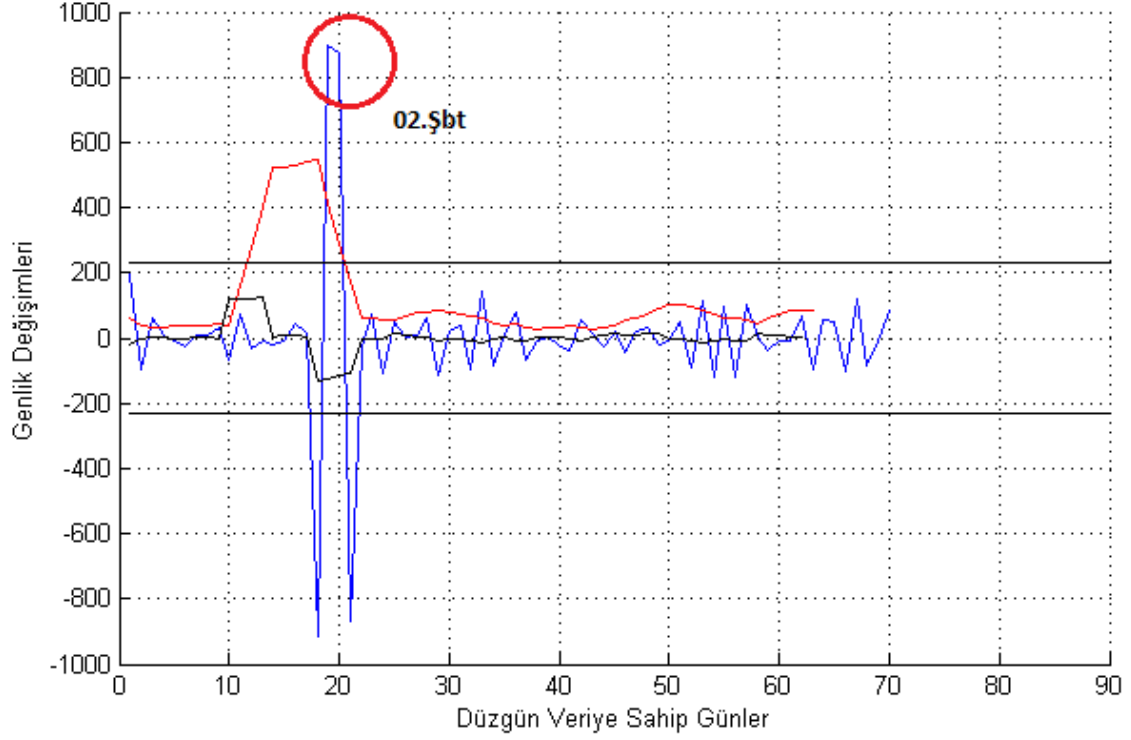
Şekil 6-52 ve Şekil 6-53’de ICV vericisinden elde edilen VLF işaretlerinin Elde Etme, Arıza Tespit ve Kesim zamanı tespit algoritmalarından geçtikten sonra elde edilmiş görüntü bulunmaktadır. ICV işaret incelendiğinde NSC vericisinden daha zor tasnif edilir bir karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir. NSC vericisinden elde edilen verinin gün içerisindeki genlik değeri değişimlerinin daha belirgin özellikler sergilediği görülürken, aynı durum ICV vericisi için söylenememektedir. Arıza Tespit algoritmasının hata oranının arttığı, tespit etmesi gereken bazı arızalı noktaların yakalanamadığı görülmektedir.

Yapılan incelemelerde gün doğumu ve batımı, gece sürelerinin değişimi ve 2σ testi sonucu elde edilen grafikler tam anlamıyla belirgin karakteristiklere sahip olmamasına rağmen 7’li hafıza tekniği ile elde edilen grafik ve bu haberci tahmin algoritması belirgin karakteristikler vermiştir.



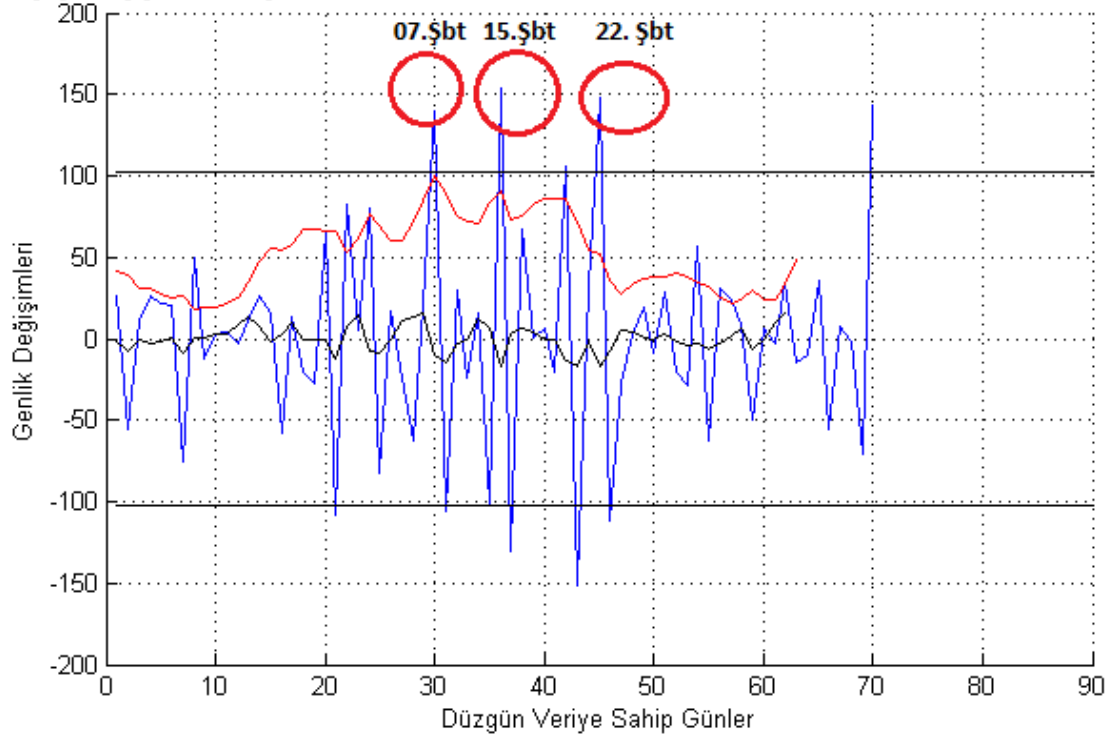
Şekil 6-54 3 aylık gece süreleri kayması üzerinden deprem tahmini

Gün Batışı Değişimi Ocak-Şubat-Mart -1-2-3-5-6-16-17-18-61-62-66-67-76-77-78-79-80-85-86-88-89-91-92-91



Şekil 6-55 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini

Gün Doğuşu Değişimi Ocak-Şubat-Mart -1-2-3-5-6-16-17-18-61-62-66-67-76-77-78-79-80-85-86-88-89-91-92-1



Şekil 6-56 3 aylık gün doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini

Şekil 6-55 ve Şekil 6-54'te görülen grafik, verilerin karakteristik değişimleri depremlerden yaklaşık 15-20 gün önce sergilediği ve devamı olacak salınımın yaşanmadığı görülmektedir. Bu ise depremlerin etkisinin tam anlamıyla yansıtılmadığı sonucunu doğurabilmektedir. Ancak Şekil 6-56'de görüldüğü gibi deprem oluşumu öncesi evresinde öncü haberci olarak belirtilebilecek bir değişim yaşanmaktadır. Bu değişim ay verileri üzerinde en belirgin artışın yaşandığı yerdir.

Mevcut analiz ise bizi şu noktaya getirmektedir. Depremlerin habercileri olabilecek öncü tespitleri için tek bir yöntem üzerinden karar verilmesi hiçbir zaman güvenilir bir sonuç vermeyecektir. Ancak ortak karar mekanizmasına sahip olan sistemlerin oluşturmuş olduğu yapılar en güvenilir yapıyı oluşturacaktır. Bu mecburiyet Ortak Karar Mekanizması ile sonraki başlıkta açıklanacaktır.

6.3.3 06 Ocak 2008 M6.2 Yunanistan Depremi NSC Vericisi

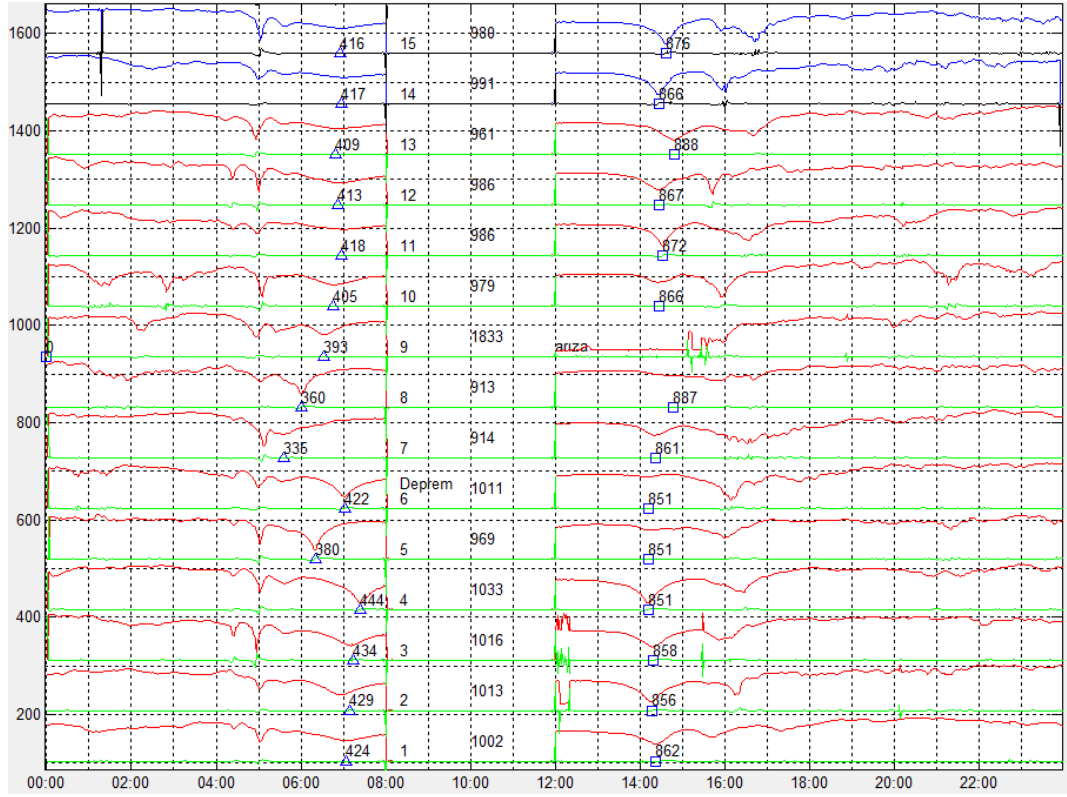
Deprem, M6.2 şiddetinde 06 Ocak 2008'de Yunanistan'da gerçekleşmiştir. Deprem 75 km derinlikte gerçekleşmiştir. Bu yüzeysel deprem kabul edebileceğimiz sonucunu doğurur. Şekil 6-57'de depremin alıcı ve verici konumlarının fresnel alanı içinde olduğu gösterilmiştir.



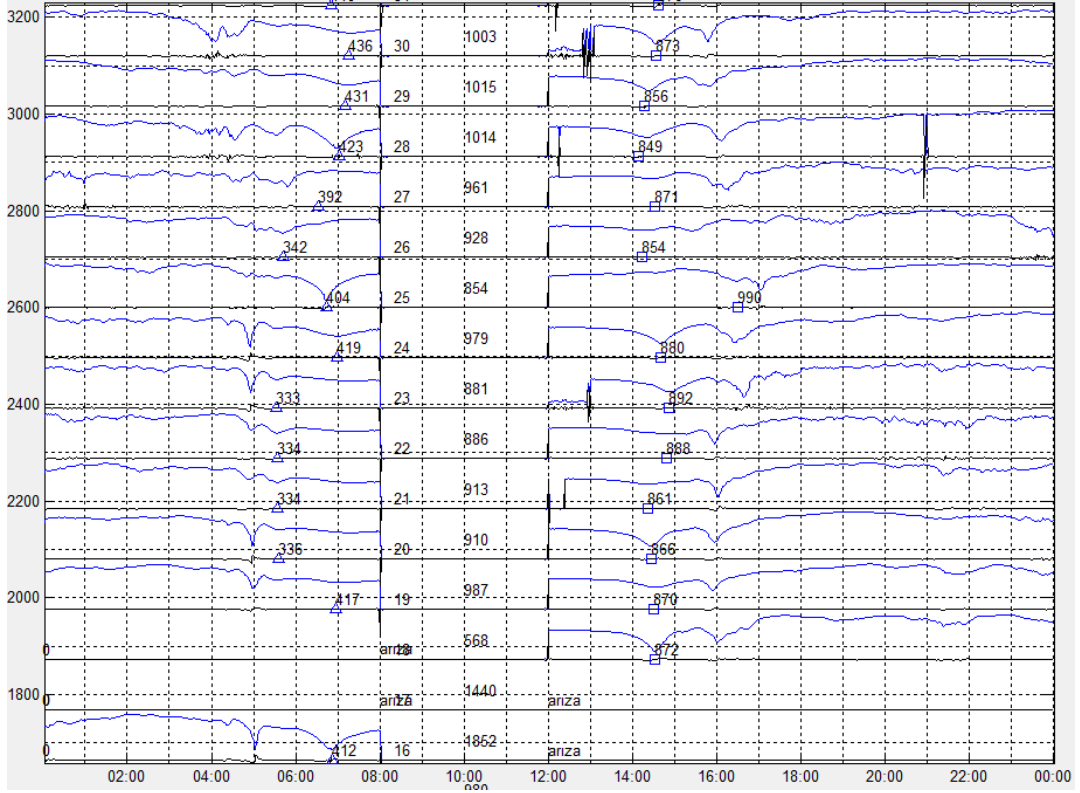
Şekil 6-57 06 Ocak 2008 Yunanistan depremi ve seçilen alıcı, vericiler

Depreme ait olan veri kümesine Elde Etme algoritmaları uygulanmalıdır. Ham veriler bu algoritma vasıtasıyla işlenebilir MATLAB dosyalarına dönüştürülecektir. İşlenebilir

veriler anlamlandırma algoritmaları ile arızalarından arındırılıp öncü haberci tespiti algoritmaları ile işlenmelidir.

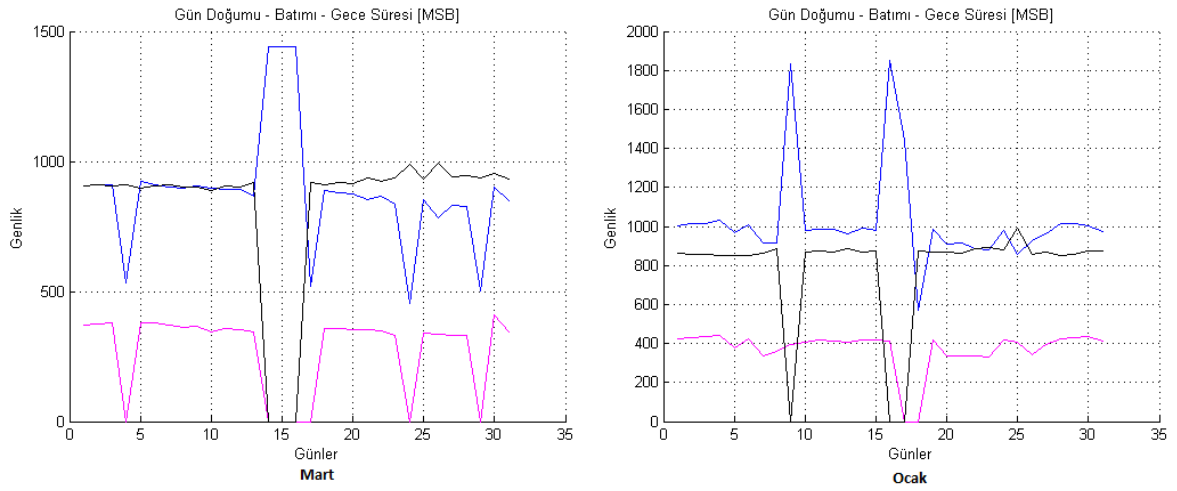


Şekil 6-58 01-15 Ocak 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları



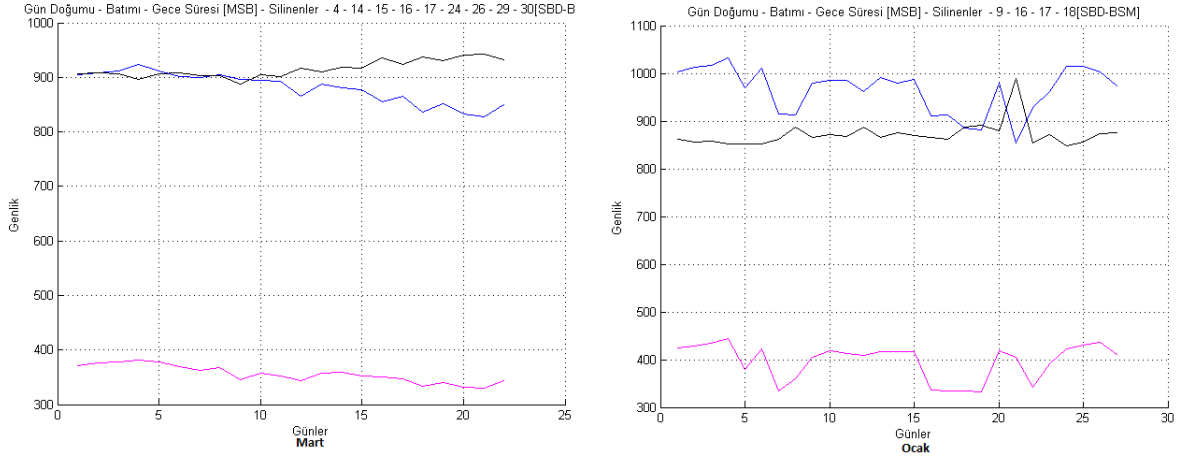
Şekil 6-59 16-31 Ocak 2008 VLF işaretleri ve kesim zamanları

Şekil 6-58 ve Şekil 6-59’da VLF işaretleri ve bu işaretlerin gün doğuşu ve batışına ait olan kesim zamanı değerleri görülmektedir. Bu değerler olası depremlerin öncü habercileri olarak kullanılıp kullanılamayacağına dair olan tespit uygulanan yöntemlerle kararlaştırılacaktır.



Şekil 6-60 Temizlenmemiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri

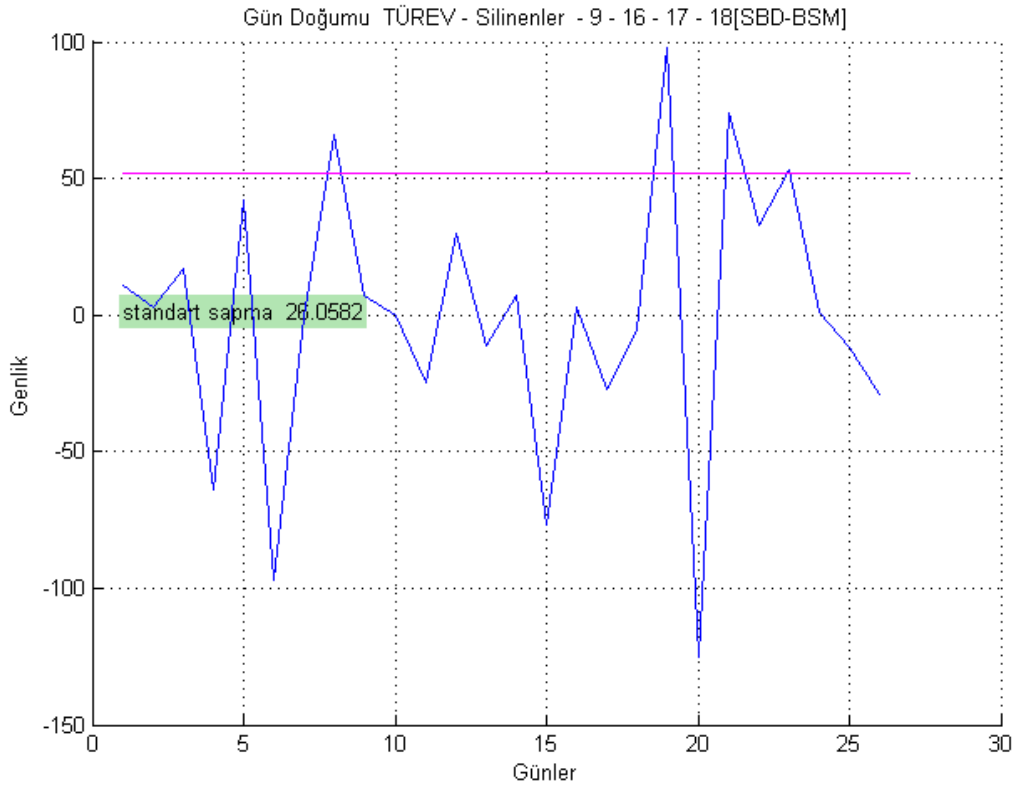
Şekil 6-60'de arızalı işaretlerden temizlenmemiş veri kümesinden elde edilen grafik görülmektedir. Bu grafik Hata Tespit algoritmasından geçirildikten sonra elde edilecek grafik daha anlamlı olacaktır.



Şekil 6-61 Temizlenmiş VLF işaretlerinin gün doğuşu, batışı ve gece süresi değerleri

Şekil 6-61'de Hata Tespit algoritması sonucu elde edilen grafik görülmektedir. Bu grafikte daha anlaşılır karakteristikler bulunmaktadır. Anlamlandırma algoritmaları bu veri kümesinden daha makul sonuçlara ulaşabileceklerdir.

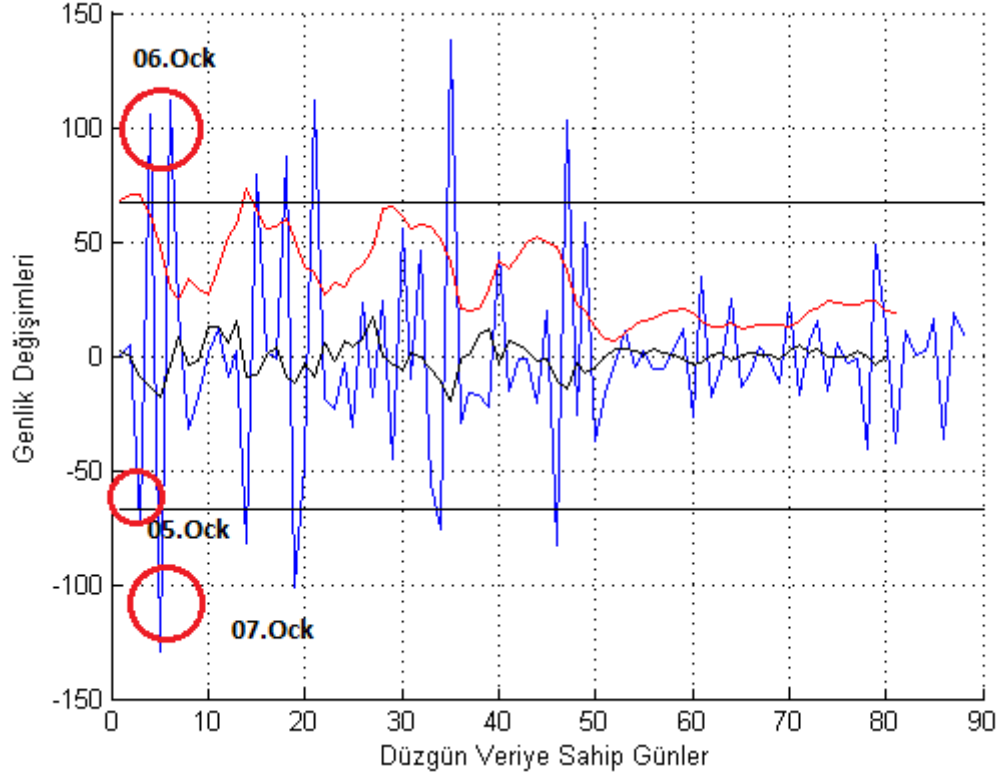
Uygulanan yöntemlerden biri olan 2σ testinde belirgin sonuçlara ulaşamamıştır. Şekil 6-62'de görülebileceği gibi deprem öncesinde limit değere çok yaklaşmış ancak bu değer aşamamıştır. Limit değer 20. günden sonra ise birkaç kez aşılmıştır. Bu aşım şubat ayında oluşacak olan depremin öncüsü kabul edilebilir.



Şekil 6-62 2σ Testi sonuçları

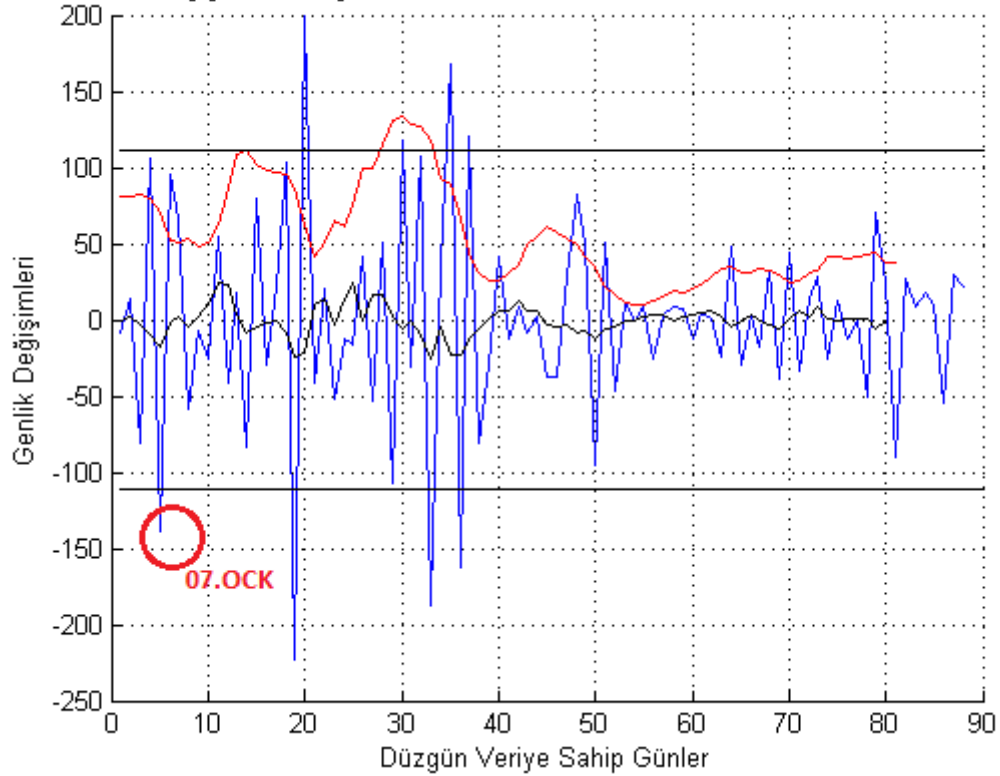
İşaretlere 3 aylık hafıza takip uygulanır ise uygun veri kümesi ile oluşturulan grafikte depremlerin öncü habercisi olarak kabul edilebilecek karakteristikler görülebilecektir. Şekil 6-63' de 5,6,7 Ocak tarihleri arasında öncü belirtilerin salınım gösterdiği görülmektedir. Bu değişim takibi, 2007 Aralık ayı verileri temiz olarak elde edilemediği için önceki 15 verisi incelenememiştir. Bu belirgin değişimlerin varlığına rağmen Şekil 6-64 ve Şekil 6-65'da çizilmiş olan gece süresi ve gün batımı kaymaları yöntemlerinde tespit edilememiştir. Bu ise yine tek kararın güvensiz sonuçlar vereceği sonucunu doğurmaktadır.

Gün Doğuşu Değişimi Ocak-Şubat-Mart -9-16-17-18-44-51-52-61-62-66-76-77-78-79-86-88-91-92

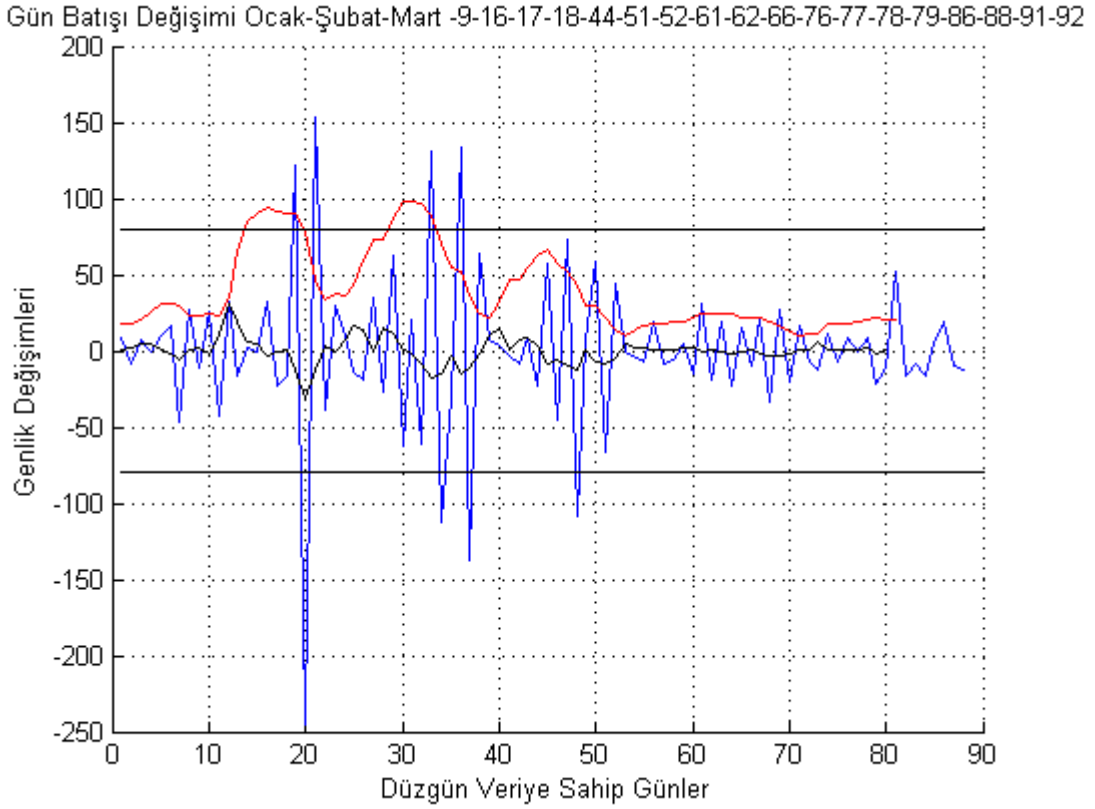


Şekil 6-63 3 aylık güneşin doğuşu kayması üzerinden deprem tahmini

Gece Süreleri Değişimi Ocak-Şubat-Mart -9-16-17-18-44-51-52-61-62-66-76-77-78-79-86-88-91-92



Şekil 6-64 3 aylık gece süreleri üzerinden deprem tahmini



Şekil 6-65 3 aylık gün batımı kayması üzerinden deprem tahmini

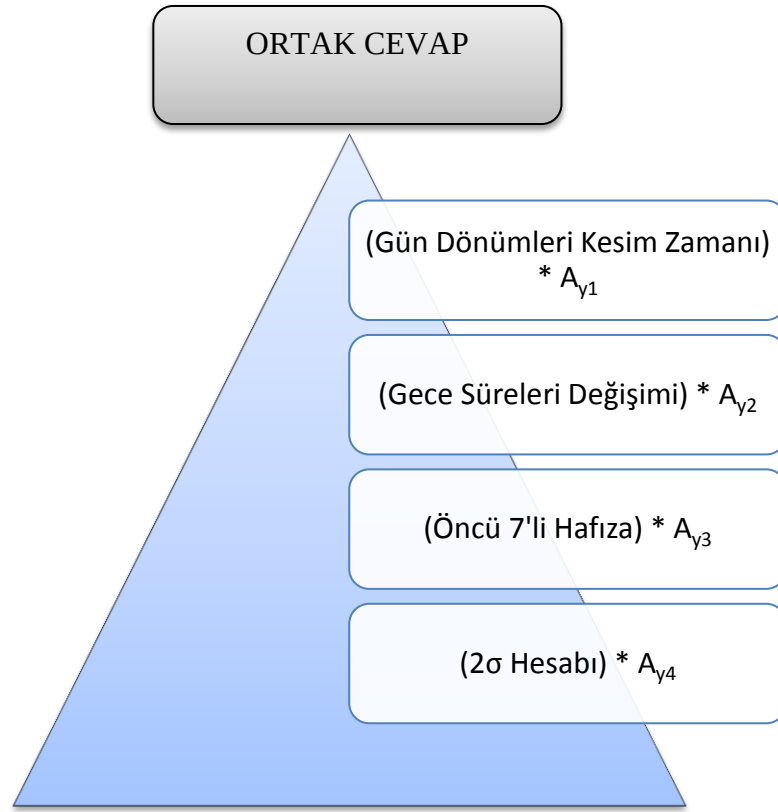
6.3.4 Ortak Karar Mekanizması Çalışma Prensibi

Sistemin sahip olduğu tüm tahmin algoritmaları çalıştıktan sonra oransal olarak tek bir tahmin üretilmektedir. Sistem bu ortak tahmini oluşturabilmesi için tüm algoritmalar çalıştırılmalıdır. Böylece sistem canlı olarak çalışıp cevap üretebilecektir. Şekil 6-66’de bu ortak cevap akışı görülmektedir.

Ortak cevap sisteminin kaynağı olan yöntemlerin sonuca olan etkileri, ağırlıkları ile belirlenmiştir. Verilen her cevaba göre yönteme ait olan ağırlık yeniden hesaplanır. Bu yapı ile hafızalı yönteme ait güvenilirlik dereceleri belirlenir. Hatalı sonuçlar veren yöntemlerin ağırlık değeri dolayısıyla verilen ortak cevaba olan etkisi düşürülmüştür. Her bir yöntem için hesaplanan ağırlık değeri (6-1)’de gösterilmiştir.

$$A_{yn} = \frac{(A_{yn-1} * DS) + NOT(YC_n + GC)}{DS + 1} \quad (6-1)$$

Denklem (6-1)'de verilen A_{yn} , her yöntem için ayrı ayrı hesaplanan ağırlık değerini ifade eder. DS , test edilmiş olan depremlerin sayısını verir. YC_n , veri kümesine göre yöntemin üretmiş olduğu cevabı ifade eder. GC ise depremin gerçekleşmesini ifade eden gerçek cevaptır.



Şekil 6-66 Ortak cevap algoritması

7 SONUÇ ve TARTIŞMA

7.1 Giriş

Veri madenciliği, tıbbi alanlarda uygulama örneklerine sıkça karşılaştığımız bir çalışma alanıdır. Bu tez kapsamında, veri madenciliği işlem adımlarının daha önce uygulanmamış olduğu, yer-iyonküre dalga kılavuzunda ilerleyen VLF işaretlerinden deprem öncü haberci tespiti analizi alanına uygulanması gerçekleştirilmiştir. VLF işaretlerinin yapısı itibari ile veri madenciliği işlem adımlarının faydalı sonuçlar üretebileceği bir alandır. VLF işaretlerinin yer-iyonküre dalga kılavuzunda ilerlerken karşılaşılmış olduğu etkilerin matematiksel modellerinin kurulması ve bu yolla deprem habercisi olabilecek öncü faktör tespiti, işaretin tesiri altındaki etkenlerin sayısının ve bilinmezliğinin fazla olması nedeniyle günümüzde imkânsıza yakındır. Bu alanda karmaşık verilerin içerisinden anlamlı sonuçların elde edilmesine veri madenciliği işlem adımlarının katkısı büyük olacaktır.

Bu tez çalışması, VLF işaretleri üzerinden deprem öncü haberci tahminine yönelik tüm yöntemlerin derlendiği bir çalışma olmuştur. Tez çalışmasında, Molchanov vd. 1998 yılında yapmış olduğu çalışma ile ortaya koyduğu parametrelerden doğan yeni bir yöntem ile mevcut yöntemlerin algoritmik olarak cevap üretebilmesini sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama, tahmin cevabını çoklu karar verme tekniği kullanarak üretmektedir. Bilinen yöntemler ile yeni geliştirilmiş yöntem cevapları toplanarak deprem tahmini ortak bir sonuca dökülmektedir. Bu uygulama, ham verilerden deprem olasılık değerini bulana kadar tüm işlem adımlarını, geliştirilmiş algoritmalar vasıtasıyla yürütmektedir. Bu algoritmalar veri madenciliği adımları üzerine kurulmuştur. Yapısı itibari ile veri madenciliği adımlarının ham veri kümesinden anlamlı sonuçlara ulaşana kadarlık kısımda faydalı katkılar sağladığı tez içerisindeki analiz örnekleri ile görülebilmektedir.

Analiz edilmesi gereken bilgi yoğunluğu itibari ile yapılan çalışmaların hızlandırılabilmesi için tez çalışması içerisinde bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma deprem öncü habercileri çalışmalarında veri elde etme yöntemlerine temel teşkil edecek bir

yapıya sahiptir. Bu çalışma, daha sonra yapılacak olan analizlerin sayısının artmasına yardımcı olacak veri Elde Etme algoritmaları ortaya koymuştur.

Ham veriden anlamlı bilgi çıkarma işinin gerçekleştirilmesi ancak hatasız veriler üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Veri madenciliğinin diğer uygulama alanları ile deprem öncü haberci tespiti alanının karşılaştırması yapıldığında arızalı veri kavramının çok önemli bir durum ifade ettiği görülmektedir. Örneğin EEG (Elektroensefalogram) işareti üzerinden hastalık tespitine dayalı yapılacak araştırmada hatalı verilerin çok az olmasına rağmen, VLF işaretleri üzerinden deprem tahmini algoritmaları geliştirmeye yönelik yapılacak olan çalışmaların en büyük problemi arızalı verilerdir. Bu hatalı verilerin algoritmik olarak tespit edilmesini sağlayacak olan uygulama geliştirmeleri, ileride yapılacak olan çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bağlamda tez çalışmasında hatalı işaretlerin tespitine yönelik yeni 4 algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların yapılan testlerde %1.6 ile %5.1 arasında hata oranı ile çalıştığı görülmektedir. Bu başarı oranı ile otomatize edilmiş bir karar mekanizması için önemli kazanımdır. Tez çalışmasında, ham işaretlerden elde edilen veri kümesinin, anlamlandırma algoritmalarına girmeden önce arızalı olanların ayıklanmasını sağlayan Hata Tespit Algoritmaları geliştirilmiştir.

Temiz veri kümeleri üzerinden anlamlandırma algoritmaları çalıştırmak için bilinen yöntemlerin bir kısmı algoritmik olarak geliştirilmiştir. Var olan anlamlandırma yöntemlerine ek olarak, yapılan çalışmalar ile tespit edilen parametrelere bağlı yeni bir deprem öncü haberci tespit yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemin uygulama tarafından sürülebilmesi için algoritmik olarak gerçekleştirimi sağlanmıştır. Bu yeni yöntem ile incelenmiş olan depremler ve veri kümelerinden başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bilinen deprem öncü haberci araştırma yöntemlerinin tamamı tek cevap üzerine çalışmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar göstermiştir ki öncü haberci doğru cevap oranı %40 ile %60 arası değişmektedir. Yani bu yöntemlerin herhangi biri ile gerçekleştirilen tahmin doğru olmama oranı yüksektir. Deprem tahmini gibi bir alanda % 10 bir hatanın bile tahammül edilebilir bir durumu yoktur. Hata olasılığının azalması sağlamak adına bilinen yöntemlerin tamamının birden ortak oluşturacağı bir cevap üzerinden tahmin yürütülmelidir. Ortak olarak üretilen cevap ise doğruluğu ile tüm yöntemlerden daha fazla güvenilir olacaktır. Bu, her bir yöntemin ürettiği cevapların ortak olarak geliştirdiği

tahmindir. Birden fazla yöntem üzerinden tahmin üretebilmeyi sağlayan birleştirilmiş karar mekanizması yapılacak olan diğer çalışmalara önemli bir katkı sağlayacaktır.

7.2 İleride Yapılacak Olan Çalışmalar

Tez çalışması ileride yapılacak olan YSA ve genetik algoritma uygulamaları için veri kümesi oluşturma konusunda kaynak teşkil olabilecek bir yapıya sahiptir. Veri elde etme algoritmasının onlarca gigabayt veri içerisinde kıyaslanmayacak kadar çok küçük ama tüm karakteristik özelliklerin barındırıldığı veri kümelerinin oluşturması ile diğer analiz yöntemlerine yardımcı olunacaktır. YSA gibi çalışmalar için henüz erkendir. YSA eğitimi yapılabilmesi için herhangi bir ağ üzerinden yaklaşık 5 yıllık temiz veri kümesine ihtiyaç vardır ki henüz böyle bir veri yığını oluşturulabilmiş değildir. Mantıksal açıdan incelendiğinde, çalışmanın bir sonraki adımında veri kümesinin faydalı olarak geliştirilmesi sağlanıp, verilerin YSA ve genetik algoritmalar ile çözümlenmesini sağlayacak bir çalışma yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akan, T.**, 2005. *Maddenin 4. Hali Plazma ve Temel Özellikleri*, Çağdaş Fizik Bilimsel ve Mesleki Dergisi, Şubat, Sayı 26.
- Akbal, A.**, 2008. *Elektromanyetik Dalgaların Mitotik Kromozomlar, Bakteri Gelişimi, Enzim Aktivitesi ve DNA Üzerine Etkileri*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Akpınar, H.**, 2000. *Veritabanlarında Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği*, İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:29, 1-22.
- Albayrak, M.**, 2008. *EEG Sinyallerindeki Epileptiform Aktivitenin Veri Madenciliği Süreci İle Tespiti*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli.
- Alpaydın, E.**, 2000. *Zeki Veri Madenciliği: Ham Veriden Altın Bilgiye Ulaşma Yöntemleri*, Bilişim 2000 Eğitim Semineri, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Arslan, E.**, 2008. *EMG İşaretlerinin İncelenmesi ve Veri Madenciliği Uygulaması*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Aydın, İ.**, 2006. *Arıza Teşhisinde Veri Madenciliği ve Yumuşak Hesaplama Tekniklerinin Kullanımı*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Aydın, Ö.**, 2006. *Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydoğan, F.**, 2004. *E-Ticarette Veri Madenciliği Yaklaşımlarıyla Müşteriye Hizmet Sunan Akıllı Modüllerin Tasarımı Ve Gerçekleştirimi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydoğdu, M.**, 1980. *Ariel 4 Uydusuyla Elde Edilen Elektron Yoğunluğu verilerinin 70-80 D ve 600-700 B Boylamları Arasında İncelenmesi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Ayık, Y., Özdemir, A., Yavuz, U.**, 2007. *Lise Türü Ve Lise Mezuniyet Başarısının, Kazanılan Fakülte İle İlişkisinin Veri Madenciliği Tekniği İle Analizi*, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- Bailey, G., Simmons, P., Moffett, R.**, 1987. *A theoretical study of the relationship between electron temperature and electron concentration in the daytime mid-to low latitude F-Layer*, Planetary Space Science, 887-901.
- Barclay, L.**, 1995. *Radiowave propagation, The basis of radiocommunication*, 89-94.
- Baydemir, N.**, 2003. *Türkiye’ de Yermanyetik Alanın Esas, Dipol ve Dipolsüz Parçasının Özellikleri*, İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 37-42, İstanbul.
- Baysal, A. C.**, 2008. *Bayi Değerlendirmesi İçin Veri Madenciliği Uygulaması*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Belrose, J.**, 1995. *Fessenden and Marconi, Their differing technologies and transatlantic experiments during the first decade of this century*, Publication 411, IEEE, p. 32-43.

- Bracewell, R. ve Straker, T.**, 1949. *Fidelity of sudden phase anomalies*. The Observatory, Vol:69, No:70, 143-145.
- Canyılmaz, M.**, 2008. *VLF Yayılımını Kullanarak Yıldırımın Alt İyonküre Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Cezibarık, S.**, 2005. *İyonkürede Fotoiyonlaşma Süreçleri*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Çıbuk, M.**, 2009. *WIMAX/IEEE 802.16 ağları üzerinden web tabanlı bio-telemetri uygulamaları için protokol tasarımı ve gerçekleştirilmesi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Davis, B.**, 1999. *Data Mining Transformed*, Information Week, 751, 86.
- De Canck, M.**, 2007. *Ionosphere properties and behaviors*, Antennex, 6-7.
- Dumouchel, W.**, 1999. *Bayesian Data Mining in Large Frequency Tables, With An Application To The FDA Spontaneous*, American Statistician, 53 (3), 177.
- Güzel E., Canyılmaz M., Turk M.** Application of Wavelet-based Denoising Techniques to Remote Sensing Very Low Frequency Signa,” Radio Science, Vol.46, 2011
- Elmas, Ç.**, 2003. *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Erol, Y.**, 2001. *Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu İle Tek Boyutlu Yapılarda Elektromanyetik Dalga Yayılımının Simülasyonu*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Galejs, J.**, 1972. *Terrestrial propagation of long electromagnetic waves*, Pergamon Press.
- Gokhberg, M., Gufeld, I., Rozhnoy, A., Marenko, V., Yampolsky, V., Ponomarev, E.**, 1989. *Study of seismic influence on the ionosphere by super long-wave probing of the Earth-ionosphere waveguide*, Phys. Earth Planet. Inter.
- Hayakawa, M.**, 1999. *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, Terra Sci. Pub. Co.
- Hayakawa, M.**, 2008. *Subionospheric VLF/LF probing of ionospheric perturbations associated with earthquakes (earthquake prediction)*, SICE Annual Conference 2008.
- Hayakawa, M., Molchanov, A.**, 2000. *Effect Of Earthquakes On Lower Ionosphere As Found By Subionospheric VLF Propagation*, Adv. Space Res, 1273-1276.
- Hayakawa, M., Molchanov, O., Ondoh, T., Kawai, E.**, 1996. *The precursory signature effect of the Kobe earthquake on VLF subionospheric signals*, J. Commun. Res. Lab., Sayı 43, 169–180, Tokyo.
- Hayakawa, M., Ohta, K., Maekawa, S., Yamauchi, T., Ida, Y., Gotoh, T., Yonaiguchi, N., Sasaki, H., Nakamura, T.**, 2006.. *Electromagnetic precursors to the 2004 Mid Niigata Prefecture*, Phys. Chem. Earth, 356-364.
- Horie, T., Maekawa, T., Yamauchi, S., Hayakawa, M.**, 2006. *A possible effect of ionospheric perturbations for the Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric VLF propagation*, Remote Sensing.

- Huffman, R., Tanaka, Y., Larrabee, J.,** 1963. J. Chem. Phys. 902.
- Inan, U.S., Lehtinen N.G., Lev-Tov S.J., Johson M.P., Bell, T.F., 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, Sayı:26, No:22, 3357-3360.
- Jacobs, P.,** 1999. *Data Mining: What General Managers Need To Know*, Harvard Management Update.
- Karatay, S.,** 2010. Deprem İle İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Killen, H.,** 1994. Modern Elektronik İletişim Teknikleri, Çev: *Mustafa AKAY, MEB Yayınları.*
- Kitler, R., Weidong, W.,** 1998. *The Emerging Role of Data Mining*, Solid State Technology, 42 (11), 45.
- Kolbaşı, A.,** 1997. *Nükleer İz Kazıma Dedektörleri İle İzmir Fay Hattında Deprem Tayinine Yönelik Radon Ölçümleri*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kouris, S., Polimeris, K., Cander, L.,** 2006. *Specifications of TEC variability*. Advances in Space Research, 983-1004.
- Kumru, M.,** 1992. *Determination of Radium-226 in Environmental Samples by the Collector Chamber Method*, Appl. Radiat. Isot., 1031-1034.
- Lee, P., Weissler,** 1953. Phys., s. 540.
- Liu, J., Chuo, Y., Shan, S., Tsai, C., Tsai, Y., Chen, Y., Pulinets, S. A., Yu, S.,** 2004. *Preearthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements*. Annales Geophysicae, 1585-1593.
- Mitra, S., Pal, S. K., Mitra, P.,** 2002. *Data mining in soft computing framework: A survey*, IEEE Transactions on Neural Networks, Sayı:13, s. 3-14.
- Mohammed, Z.,** 2003. *Introduction to Data Mining*. Springer Verlag.
- Molchanov, O., Hayakawa, M., Oudoh, T., Kawai, E.,** 1998. *Precursory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, s. 239-248.
- Molchanov, O., M. Hayakawa, Miyaki, K.,** 2001. *VLF/LF sounding of the lower ionosphere to study the role of atmospheric oscillations in the lithosphere-ionosphere coupling*, Adv. Polar Upper Atmos. Res., s. 146-158.
- Muto, F., Horie, T., Yoshida, M., Hayakawa, M., Rozhnoi, A., Solovieva, M., Molchanov, O. A.,** 2009. *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, s. 449-455.
- Oğur, U.,** 2004. *Görsel Ve Dinamik Veri Madenciliği Kullanarak Sesin Akustik Parametrelerinin İncelenmesi*, Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ondoh, T.,** 2000. *Seismo-ionospheric phenomena*, Advances in Space Research, s. 1267-1272.

- Orhun, Ö., Tanışlı, M.,** 2007. *Elektromanyetik Dalgalar*, Anadolu Üniversitesi, Ders Notu, Eskişehir.
- Özbay, E.,** 2007. *Finans Sektöründe Veri Madenciliği İle Dolandırıcılık Tespiti*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Özcan, O., Ünal, İ., Güzel, E.,** 2003. *The integrated layer conductivities of the ionospheric E and F-region*, Balkan Physics Letters, s. Sayı:11, No:3, 138-145.
- Özekes, S.,** 2003. *Veri Madenciliği Modelleri Ve Uygulama Alanları*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi, Sayı:3, s. 65-82, İstanbul.
- Özerdem, S. Üstündağ B.,** 2005. *Self Organized Maps Based Neural Networks for Detection of Possible Earthquake Precursory Electric Field Patterns*, Advances in Engineering Software, Elsevier Science Ltd, London.
- Öztemel, E.,** 2003. *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pastacı, H.,** 1996. *Modern Elektronik Sistemler*, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Pierce, E.,** 1976. *Atmospheric electricity and earthquake prediction*, Geophys. Res. Lett., s. 185-188.
- Plotkin, V.,** 2003. *GPS detection of ionospheric perturbations before the 13 February 2001 El Salvador earthquake*, Natural Hazards and Earth Systems Sciences, s. 249-253.
- Pulinets, S. A.; Alekseev, V. A.; Legen'ka, A. D., Khegai, V. V.,** 1997. *Radon And Metallic Aerosols Emanation Before Strong Earthquakes And Their Role In Atmosphere And Ionosphere Modification*, Adv. Space Res., s. 2173-2176.
- Pulinets, S.,** 2004. *Ionospheric precursors of earthquakes; recent advances in theory and practical applications*, TAO, s. 413-435.
- Ratcliff, J.,** 1972. *An Introduction To The Ionosphere And Magnetosphere*. Cambridge University. Press, s. 256, Londra.
- Rishbeth, A.,** 1967. *The institute of electrical and electronics engineers*, A Review of ionospheric F region theory, Sayı:55, s.18.
- Rishbeth, H. & Garriot, O.,** 1969. *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Pres, s. 175-186.
- Rishbeth, H. & Mendilloa, M.,** 2001. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Patterns of F2-layer variability, Sayı:63, s.1665-1666.
- Rodriguez, J.,** 1994. *Modification of the Earth's ionosphere by Very-Low-Frequency transmitters*, Stanford University, Stanford, Doktora Tezi, Stanford.
- Saç, M., Camgöz, B.,** 2005. *İzmir'de Sismik Aktiviteler İle Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, s. 47-54.
- Samson, J.,** 1966. *Advan. At. Mol. Phys.*, s. 178.
- Sato, T., Takumi, I., Hata, M., Yasukawa, H.,** 2009. *Detection And Radiation Area Estimation Of Anomalous Environmental Electromagneticwave Related To*

- Earthquake Precursor, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009, s. 518-521.
- Sevgi, L.**, 2004. *Haberleşme Sistemleri ve Elektromanyetik Dalga Yayılımı*, Endüstriyel & Otomasyon.
- Shagimuratov, I. I., Baran, W., Wielgosz, P.**, 2002. *The structure of mid and high-latitude ionosphere during September 1999 storm event obtained from observations*, Annales Geophysicae, s. 655-661.
- Shvets, A., Hayakawa, M. & Maekawa, S.**, 2004. *Results of subionospheric radio LF monitoring prior to the Tokachi*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci, s. 647-663.
- Signh, M. Kumar. M., Jain, R.K., Chatrath, R.P.**, 1999. *Radon in Ground Water Related to Seismic Events*, Raiation Measurements, s. 465-469.
- Taflove, A. H. S.**, 2002. *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method*, Second ed. Artech House, Norwood,.
- Turan, E.**, 2006. *Elektron Yoğunluğu İle Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişki*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Uğurlu, O.**, 2007. *IOMOLAB Yöntemi ile Web Tabanlı Elektron İçeriği Hesaplanması ve Sunumu*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ulusoy, Ü., Ikeya, M.**, 2010. *Deprem Habercisi Olaylar ve Bilimsel Yorumlar*, Nobel Kitap, Ankara, ISBN:978-605-606-741-9.
- URL-1, 2011.** http://tr.wikipedia.org/wiki/Aşırı_düşük_frekans, 15 Mart 2011.
- URL-2, 2011.** http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_alanlar. 15 Mart 2011
- URL-3, 2011.** http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf. 15 Mart 2011
- URL-4, 2011.** <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/ionospheric/ionosphere.php> . 21 Mart 2011
- URL-5, 2011.** <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IonosphereMUF.png?uselang=de>. 04 Nisan 2011
- URL-6, 2011.** <http://www.hasanbalik.com/dersler/emdalga/04-05odev/plazma&iyi%c4%b0letkende%20dalgalar/plazma/elektromanyet%c4%b0k%20dalgaların%20plazma%20ortamındaki%c4%b0%20hareket%c4%b0.doc>. 23 Haziran 2011
- URL-7, 2011.** <http://www.harp.alaska.edu>. 12 Mart 2011
- URL-8, 2011.** [http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics)). 20 Mart 2011
- URL-9, 2011.** <http://deprem.itu.edu.tr>. 13 Ağustos 2011
- URL-10, 2011.** <http://deprem.itu.edu.tr/staff.html>. 10 Mart 2011
- URL-11, 2011.** <http://deprem.itu.edu.tr/?file=harici>. 10 Mart 2011
- URL-12, 2011.** http://tr.wikipedia.org/wiki/Veri_madencili%C4%9Fi. 10 Temmuz 2011
- URL-13, 2004.** <http://www.thearling.com> 15 Temmuz 2011
- URL-14, 2008.** www.bilisimrehber.com.tr/arastirma/tr_arastirma_veriambari_temelleri.phtml. 15 Temmuz 2011

- URL-15, 2011. <http://vlf.stanford.edu/>. 12 Mart 2011
- URL-16, 2011. <http://www.sec.noaa.gov/info/Kindex.html>. 02 Nisan 2011
- URL-17, 2010. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>. 02 Kasım 2010
- URL-18, 2010. http://sprg.ssl.berkeley.edu/dst_index/Dst_index.html. 03 Kasım 2010
- URL-19, 2010. <http://vlf.stanford.edu/vlfddata/>. 15 Aralık 2010
- URL-20, 2011. <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx>. 13 Eylül 2011
- Üstündağ, B., Kalenderli, Ö., Eyidoğan, H., 2004. *Multilayer capacitor model of the Earth's Upper Crust*. TÜBİTAK: Elektrik – Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences.
- Vahaplar, A. & İnceoğlu, M., 2001. *Veri Madenciliği ve Elektronik Ticaret*.
- Virk, H.S., Walia, V., 2001. *Helium/Radon Precursory Signals of Charmoli Earthquake, India*, Radiation Measurements, s. 379-384.
- Wait, J., 1964. *The relation between VLF propagation and D-layer characteristics*, I.E.E. Transactions on Antennas and Propagation, s. 239-240.
- Waynick, A., 1957. *The present state of knowledge concerning the lower ionosphere*, Proceedings of the IRE, s. 741-749.
- Whitten, R. & Poppoff, I., 1971. *Fundamentals of Aeronomy*, Space Science Text Series.
- Wuilleumier, F., 1970. Acad. Sci. s. 270-272.
- Yamauchia, T., Maekawaa, S., Horiea, T., Hayakawaa, M., Solovievb, O., 2007. *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.
- Zmazek, B., Zivcic, M., Vaupotic, J., Bidovec, M., Poljak, M., Kobal, I., 2002. *Soil radon monitoring in the Krško Basin*, Applied Radiation and Isotopes, pp. 649-657, Slovenia.

EK-1 : DEPREM TAHMİNİ KONUSUNDA ÇALIŞAN KURUMLAR VE KİŞİLER

1. The Earthquake Prediction Research Center (EPRC) - http://www.eprc.eri.u-tokyo.ac.jp/EPRC_E.html
2. The Coordinating Committee for Earthquake Prediction (CCEP) - <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/index.e.html>
3. USGS Earthquake Hazard Programs - http://earthquake.usgs.gov/research/parkfield/eq_predict.php
4. Kayaç Gerginlik İzleme Yöntemi İle Deprem Tahmini Projesi - <http://www.yerdurumu.com>
5. USGS Earthquake Hazard Programs - <http://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/predict.html>
6. Thanassoulas, C., BSc. in Physics, MSc. - Ph.D in Geophysics - Athens University, Yunanistan <http://www.earthquakeprediction.gr/>
7. <http://quakefinder.com/>

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Elazığ'da yaptı. Yabancı Dil Ağırlıklı bir lise olan Özel Bilgem Okullarından 1999 yılında mezun olduktan sonra Fırat Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliğinden 2003 yılında mezun oldu. Öğrencilik yıllarında Fırat Üniversitesinin, Bilgi İşlem Dairesinde yazılım geliştirme ve Ar-Ge biriminde yarı zamanlı olarak çeşitli projelerde yer aldı. Lisans eğitiminin Bitirme ödevi olarak “Fırat Üniversitesi dinamik web sayfası yönetici ara yüzü ve veri tabanı tasarımı” gerçekleştiren ekibin içerisinde bulundu. Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Donanım anabilim dalında 2006 yılında Yüksek Lisans unvanı aldı.

Veri Madenciliği, VLF İyonküre İlişkisi, PACS sistemleri, DICOM formatı, Web tabanlı uzaktan yönetim, Bilgi Sistemleri çalışma alanlarından bir kaçıdır. Halen, Fırat Üniversitesi Enformatik Bölümünde Okutman ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığında Ar-Ge birim şefi olarak görev yapmaktadır.