

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

**VLF SİNYALLERİNDE OLUŞAN
TEDİRGİNLİKLER İLE JEOMANYETİK
İNDEKSLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
İNCELENMESİ
Mehmet YAŞAR
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Murat CANYILMAZ
ARALIK-2012**

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

**VLF SİNYALLERİNDE OLUŞAN TEDİRGİNLİKLER İLE
JEOMANYETİK İNDEKSLER
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arş. Gör. Mehmet YAŞAR

(091114104)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç Dr. Murat CANYILMAZ

ARALIK - 2012

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

**VLF SİNYALLERİNDE OLUŞAN TEDİRGİNLİKLERİ İLE
JEOMANYETİK İNDEKSLER
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arş. Gör. Mehmet YAŞAR

(091114104)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.12.2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 25.12.2012**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat CANYILMAZ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Raşit ZENGİN (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Esat GÜZEL (F.Ü)

ARALIK - 2012

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasının hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen bilgi ve görüşlerinden faydalandığım yüksek lisans tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Murat CANYILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Yrd. Doç. Dr. Esat GÜZEL'e, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı hazırlama sürecinde, benden yardımlarını esirgemeyen, Prof. Dr. Fahrettin Yakuphanoglu'na, Dr. Ömer Kaygılı'ya, İstatistik bölümü Araştırma Görevlisi Efe Adem Doğaner'e ve uzakta olmasına rağmen sürekli yanımda olan sevgili dostum ODTÜ İstatistik Bölümü Araştırma Görevlisi Muhammed Burak Kılıç'a gönül dolusu şükranlarımı sunarım.

Mehmet YAŞAR
ELAZIĞ – 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. İYONKÜRE	5
2.1. Yer-İyonküre Dalga Klavuzu.....	5
2.2. İyonkürenin D Bölgesi.....	7
2.3. VLF Sinyal Tedirginlikleri	10
2.3.1. Yıldırım-Etkili VLF Sinyal Tedirginlikleri	10
2.3.1.1. Erken/Hızlı VLF Olayları	10
2.3.1.2. Yıldırım-Etkili Elektron Yağışı Olayları	13
2.4. Jeomanyetik İndeksler	16
2.4.1 Kp İndeksi.....	16
2.4.2 Dst indeksi	17
3. VLF SİSTEMİ	19
3.1. VLF Alıcı Sistemi	19
3.1.1. VLF Anteni	19
3.1.2. Bilgisayar ve Program	20
3.2. VLF Vericileri	22
3.3. Kullanılan Analiz Programları.....	23
3.3.1. Matlab Analiz Programları	23

	<u>Sayfa No</u>
3.3.2. SPSS	23
4. BULGULAR.....	25
4.1. VLF Sinyal Tedirginliklerinin Otomatik Tespiti	28
4.2. VLF Sinyal Tedirginliklerinin Aylık, Günlük ve Saatlik Değişimleri	30
4.3. VLF Sinyal Tedirginlikleri İle Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişkinin İncelenmesinde Spss Analizi.....	34
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	42
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ÖZET

Bu çalışmada, VLF sinyali üzerinde oluşan tedirginlikler ile jeomanyetik indeksler arasındaki ilişki HWU ve ICV kodlu iki VLF sinyali için 2006 yılı ilk altı aylık dönem incelenmiştir.

VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri otomatik olarak tespit eden bir program yazılmış ve sonuçları manuel inceleme ile karşılaştırılmıştır.

Bu iki sinyalde oluşan olaylar arasındaki ilişki aylık, günlük ve saatsel olarak incelenmiştir. İstasyonlar arasında aylık ters yönlü kuvvetli bir ilişki, günlük ve saatsel incelemede doğru yönlü zayıf bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Sinyal tedirginlikleri ile jeomanyetik indeksler arasında bir ilişkiyi araştırmak için Kp ve DST indeksleri aylık, günlük ve saatlik olarak sınıflandırılmıştır. Bu araştırmada genellikle sosyal alanlarda kullanılan SPSS programına bağlı Regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, VLF sinyal tedirginlikleri ile hem Kp hem de DST indeksi arasında, günlük ve saatlik bazlarda, etkileşimler olduğu bulunmuştur. Kp ve DST indekslerinin olay sayısını genellikle arttırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: VLF, Kp, DST, SPSS, Regresyon Analizi

SUMMARY

Investigation of Relationship between VLF Signal Perturbations and Geomagnetic Indices

In this study, the relationship between VLF signal perturbations and geomagnetic indices were investigated for the HWU and ICV-coded two VLF signal during the first six months of 2006.

A Matlab program was written to detect perturbations automatically on the VLF signals and the results were compared with the manual.

The relationship between events on these two signals was analyzed monthly, daily and hourly. An opposite-strong relation for monthly and a right-weak for daily and hourly was found between these stations.

The Kp and DST indices were categorized monthly, daily and hourly to investigate the relationship between events on the signals with geomagnetic indices. In this study, the Regression Analyze Method of SPSS program which is usually used for the social sciences was applied. According to the results, interactions were found between the perturbations on the VLF signals and Kp and DST index, in daily and hourly conditions. It was observed that Kp and DST indices generally increase the number of perturbations.

Keywords: VLF, Kp, DST, SPSS, Regresyon Analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yer-İyonküre dalga klavuzu, D bölgesindeki N_e değişimini ve VLF yayılımını etkileyen karışıklıkların gösterimi [63]	4
Şekil 2.1. Gece ve gündüz D bölgesi elektron yoğunluğunun değişimi [29]	9
Şekil 2.2. Erken/Hızlı olay oluşumunun genel gösterimi.....	12
Şekil 2.3. Lep olayının genel gösterimi.....	15
Şekil 3.1. VLF alıcı sistemi blok diyagramı.....	19
Şekil 3.2. Fen-Edebiyat Fakültesi çatısına kurulan VLF alıcı sisteminin anteni.....	20
Şekil 3.3. Elektromanyetik Dalga Laboratuvarındaki VLF alıcı sisteminin genel görünümü....	22
Şekil 4.1. VLF Vericileri ve alıcısının harita üzerinde gösterimi.....	25
Şekil 4.2. HWU istasyonu 2006 yılı 15 Haziran'da alınmış VLF sinyal örneği.....	26
Şekil 4.3. ICV istasyonu, 2006 yılı 9 Haziranda alınmış VLF sinyal örneği.....	27
Şekil 4.4. ICV verici istasyonuna ait 06.03.01 tarihli, saat 13.00'da alınan VLF sinyal tedirginliği.....	29
Şekil 4.5. HWU verici İstasyonuna ait 06.05.12 tarihli, saat 13.00'da alınan VLF sinyal tedirginliği.....	29
Şekil 4.6. HWU ve ICV Verici istasyonlarına ait 2006 yılı ilk altı aylık olay sayısı değişimleri.....	31
Şekil 4.7. HWU ve ICV verici istasyonlarına ait 2006 yılı ilk altı ayına ait günlük olay sayısı değişimleri.....	31
Şekil 4.8. HWU verici istasyonuna ait 2006 yılı ilk altı ayına ait saatsel bazda olay dağılımları.....	32
Şekil 4.9. ICV verici istasyonuna ait 2006 yılı ilk altı ayına ait saatsel bazda olay dağılımları.....	32

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Gece D bölgesi parametreleri [29].....	9
Tablo 2.2. LEP olayını tanımlayan karakteristiklerin değişim aralıkları [59].....	16
Tablo 2.3. K indeksi ile maksimum dalgalanmalar arasındaki dönüşüm tablosu.....	17
Tablo 2.4. Kp ile Ap arasındaki dönüşüm tablosu.....	17
Tablo 2.5. Dst indeksinin sınıflandırılması.....	18
Tablo 3.1. Sistemde kayıtlı vericiler.....	23
Tablo 4.1. Verici ile alıcı istasyonun frekans, çağrı kodu, yerleşim yerleri ve aradaki Mesafeler.....	26
Tablo 4.2. İncelenen gün ve saat değerleri.....	27
Tablo 4.3. Her iki istasyon için saptanan olay sayısı, autodetect ve manuel arasındaki hata hesabı sonuçları.....	30
Tablo 4.4. Korelasyon sabiti değerleri.....	34
Tablo 4.5. 2006 yılı ilk altı ayına ait Kp indeksi değerleri.....	35
Tablo 4.6. 2006 yılı ilk altı ayına ait Dst indeksi değerleri.....	36
Tablo 4.7. Günlük bazda ortalama Dst ve Kp indeksi ile olay sayısı arasında regresyon Analizi.....	37
Tablo 4.8. Saatlik bazda ortalama Dst ve Kp indeksi ile olay sayısı arasında regresyon Analizi.....	38
Tablo 4.9. Günlük bazda ortalama Dst ve Kp indeksi ile olay sayısı arasında korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi.....	40
Tablo 4.10. Saatlik bazda ortalama Dst ve Kp indeksi ile olay sayısı arasında korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi.....	40

KISALTMALAR LİSTESİ

VLF	: Çok düşük frekans
ELF	: Asırı düşük frekans
LF	: Düşük frekans
E/F	: Erken/Hızlı
LEP	: Yıldırım-etkili elektron yağışı
TE	: Enine elektrik
TM	: Enine manyetik
GPS	: Küresel konum sistemi
RFI	: Radyo frekans girişimi
AM	: Genlik modülasyonu
FM	: Frekans modülasyonu
UT	: Evrensel zaman
ADC	: Analog dijital kart
SPSS	: Sosyal Bilimler için Paket Program

SEMBOLLER LİSTESİ

N_e	: Elektron yoğunluğu
δ	: Deri kalınlığı
f	: Dalganın frekansı
s	: İletkenlik
ε	: Dielektrik katsayısı
ω_p	: Plazma salınım frekansı
ω_c	: Dönme frekansı
m	: Kütle
q	: Elektrostatik yük
B	: Elektromanyetik dalganın manyetik alanı
B₀	: Dünya'nın manyetik alanı
E	: Elektrik alan şiddeti
H	: Manyetik alan şiddeti
k	: Dalga vektörü
μ	: Manyetik geçirgenlik
c	: Işık hızı
h	: Yükseklik

1. GİRİŞ

Elektromanyetik dalgalar ile ilgili çalışmalar 1901 yılında Guglielmo Marconi tarafından, aralarında 3500 km mesafe olan Poldhu, Cornwall ile St. Johns, Newfoundland arasında yapılan ilk olarak Atlantik aşırı radyo dalgası iletimi ile başlamıştır. Bu gelişme elektromanyetik dalga yayılımının fiziksel süreçleri ile ilgili birçok spekülasyona sebep olmuştur [1]. Oliver Heaviside, Arthur E. Kennelly ve Oliver Lodge gibi jeomanyetikçiler birbirlerinden bağımsız olarak 1902 yılında yaptıkları çalışmalar sonucunda üst atmosferde bir elektriksel iletken tabakanın varlığını ileri sürmüşlerdir [2]. Aynı yıl Oliver Lodge iletkenliğin, Güneş'ten gelen UV(mor ötesi) yayılımının nötr bileşenleri iyonlaştırmasına bağlı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Lodge bu iletken tabakanın iyi bir yansıtıcı olduğu kadar, zayıflamaya da sebep olduğunu ifade etmiştir. Bu ilk araştırmalara rağmen, iyonkürenin var olduğu fikrinin bilim adamları ve mühendisler tarafından kabul edilmesi yaklaşık 20 yıl sürmüştür [3].

1920 li yılların başlarında Atlantik'in her iki tarafındaki mühendisler ve bilim adamları, orta ve kısa dalgalar kullanarak, iyonkürenin varlığını ispatlamayı amaçlayan birçok teorik ve deneysel çalışma yapmalarına rağmen ciddi gelişmeler sağlayamamışlardır. İngiltere'de E.V. Appleton ve çalışma arkadaşları, 1920'den sonra geliştirdikleri teoriler ile iyonlaşmış tabakanın kırılma indisini manyeto-iyonik formüllere dayandırarak yaptıkları deneysel sonuçlarla ispatlamışlardır. Appleton 1927–1930 yılları arasında elektron yoğunluğuna göre iyonkürenin D, E ve F tabakalarını tanımlamıştır. E tabakası Kennelly-Heaviside tabakası olarak bilinir, çünkü 1902 yılında ilk onlar tarafından hipotez olarak tanımlanmıştır [4, 5, 6, 7, 8]. II. Dünya Savaşına kadar VLF (çok düşük frekans) haberleşmelerinin çalışma alanları, doğru frekans standardının gelişimi, gemicilikte VLF ile şebeke işletimi ve askeri haberleşmeler için yeni ve güçlü VLF vericileri üretimi ile artmıştır [9, 10]. Aynı zamanda, Yer yüzeyi ve D bölgesi arasındaki dalga kılavuzunda yapılan yayılımla ilgili teoriler, birçok modun toplamı veya yer yüzeyinde ve alt iyonkürede sınır şartlarını sağlayan Maxwell denklemlerinin çözümü şeklinde geliştirilmiştir [11, 12, 13]. Yeni VLF uygulamalarının desteklenmesinde alt iyonküre VLF dalga yayılımının kullanılmasına ve nicel analizlere izin veren ve bu teorilere dayanan ileri elektromanyetik kodlar geliştirilmiştir [14]. VLF/LF iyonküresel sondalar D bölgesinin yapısı hakkında detaylı bilgi sağlamışlardır [15, 16].

İyonküre D, E, F bölgeleri olarak isimlendirilen ve elektriksel olarak nötr olan iyonlaşmış tabakalardan oluşur. Bu tabakalar, farklı yüksekliklerde farklı oranlardaki bağlanma, iyonlaşma ve tekrar birleşme süreçleri sonucunda ortaya çıkar. Bu süreçler, Güneş ve Güneş kaynaklı olmayan ışınımlara bağlı olarak gece ve gündüz değişiklik gösterir. Elektron yoğunluğu iyonküre yapısını belirleyen önemli bir parametredir. D tabakasındaki iyonlaşmanın ana kaynağı güçlü X-Işınları ve Lyman- α ışınları, E tabakasındaki zayıf X-ışınları ve F tabakasındaki ise Güneş'ten gelen mor ötesi ışınlarıdır [17, 18].

Çok Düşük Frekanslı (VLF) radyo dalgaları (3–30 kHz) denizcilik (denizaltı) haberleşmeleri, askeri amaçlı haberleşmeler ve uzak mesafe haberleşmelerinde kullanılır. Bu frekansların diğer frekanslardan az kullanılmasının sebebi, modülasyonun çok az bilgi taşıyabilmesi ve vericilerinin çok pahalı olmasıdır [19]. VLF dalgaları yer yüzeyi ile atmosferin iyonlaşmış bölgesinin alt sınırı (alt iyonküre) arasındaki küresel dalga kılavuzunda yayılırlar ve bu bölge Yer-İyonküre Dalga kılavuzu olarak adlandırılır (Şekil 1.1). VLF sinyali genellikle alt iyonkürede oluşan bölgesel karışıklıkların konumlarını ve geçici yapılarını açıklamak amacıyla kullanılır ve bu teknik VLF Uzaktan Algılama (VLF Remote Sensing) olarak isimlendirilir.

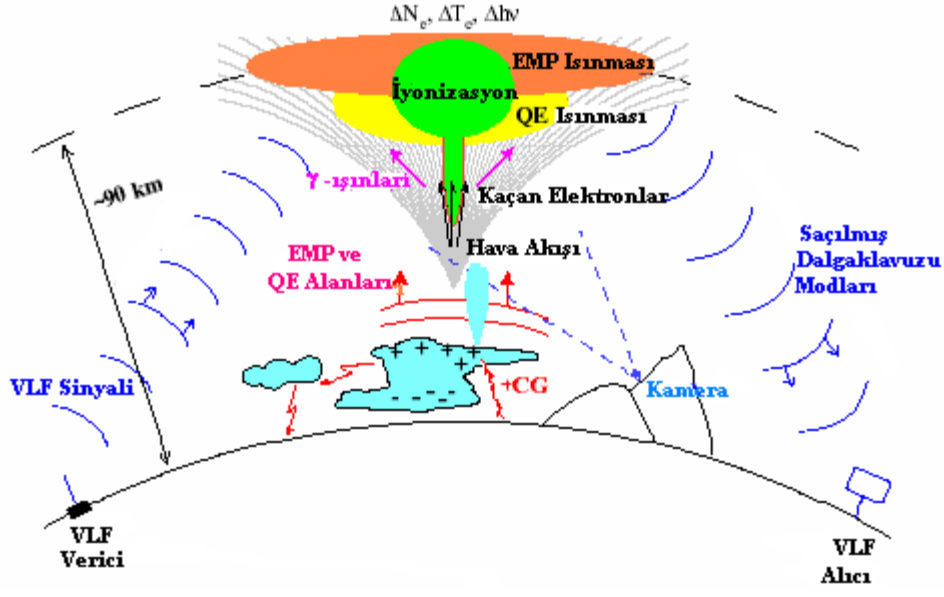
D bölgesi çok düşük frekanstaki radyo dalgaları için iyi bir yansıtıcı olduğundan atmosferdeki VLF deneyleri, elektromanyetik dalgaların iyonkürenin D bölgesinden yansımaya dayanır. Yer yüzeyi ve D bölgesinin küresel dalga kılavuzu şekli, bu frekanslarda uzun mesafe yayılımına izin verir. D bölgesinden VLF dalgalarının yansımaları elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonküredeki elektron yoğunluğunu en fazla etkileyen süreç iyonlaşmadır. İyonlaşma, zamanın, yüksekliğin, solar aktivite seviyesinin ve diğer faktörlerin bir fonksiyonudur.

Gece boyunca, D bölgesindeki düşük elektron yoğunluğundan dolayı bu tabakanın radar ve iyon sondalarla incelenmesi mümkün değildir. Bu yüzden çok düşük frekanslı (VLF) dalgaları D bölgesindeki geçici iyonküresel karışıkları uzaktan algılamak için kullanılan çok güçlü bir yöntemdir. VLF teknikleri kullanılarak; güneş patlamaları, meteor yağmurları, nükleer patlamalar, uzaysal gamma ışın patlamaları, Yer'in radyasyon kuşaklarındaki yüksek enerjili elektronların orta enlemlerden iyonküreye gece girişi, Auroral bölgelerdeki enerjili elektronların iyonküreye girişi ve yıldırımların VLF yayılımına etkilerini belirlemek gibi bir çok çalışma yapılabilmektedir [20, 21].

D bölgesindeki VLF dalgalarının herhangi bir noktadaki genliği ve fazı, iyonkürenin elektriksel iletkenliğine bağlıdır. Alt iyonkürde iletkenlik değişimlerinin doğrudan ve dolaylı sebebi yük boşalmaları sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalardır [22]. Yer atmosferinde her gün ortalama, ~1800 yıldırımlı fırtına olduğu, saniyede toplam ~37 adet boşalma üretildiği ve bir yıldırım boşalmasının yaklaşık 10^6 J elektromanyetik enerji yaydığı düşünülürse iyonkürde yıldırıma bağlı oluşan etkilerin araştırılmasının ne kadar önemli olduğu anlaşılır [23].

Yıldırımın sebep olduğu elektromanyetik darbeler tarafından yayılan enerji ELF/VLF bandındadır [21]. Bu darbeler VLF radyo atmosferikleri veya ‘sferics’ olarak bilinirler ve birkaç milisaniyelik zaman diliminde oluşarak çok uzak mesafelere yayılabilirler. Bunların ölçülen özellikleri, yıldırım akımları ve iyonküre özellikleri hakkında bilgi sağlamada kullanılırlar [24]. Yıldırımlı fırtınaların sebebi ile ortaya çıkan bu etkiler, ortamdaki elektronların birkaç yüz milisaniye süresince ısınmaları, ~85 km yükseklikte 10–100 sn süren iyonlaşma değişimleri ve elektron sıcaklığındaki değişimler olarak tanımlanabilirler [25, 26, 27, 28]. Bu karışıklar genellikle VLF sinyalinin genliğinde ve fazında ani değişimlerle ve tekrar sinyalin eski haline gelmesi için bir geri dönüşüm süresiyle tespit edilirler. Şekil 1.1’de Yer-İyonküre Dalga klavuzu, D bölgesindeki N_e değişimi ve VLF yayılımını etkileyen karışıklıklar şematik olarak gösterilmiştir.

Yıldırım etkili VLF olayları genel olarak ikiye ayrılmıştır. Bunlar, Erken/Hızlı (Early/Fast) ve LEP (Lightning-induced Electron Precipitation) olaylarıdır. Erken/Hızlı VLF olayları, alt iyonkürdeki iletkenlik üzerinde bir yıldırım boşalmasının doğrudan etkisi sonucunda oluşur. LEP olayı ise yıldırımın alt iyonkürdeki iletkenlik üzerinde dolaylı etkisi sonucunda ortaya çıkar. Yıldırım boşalması sonucunda ortaya çıkan elektromanyetik ışınma manyetoküreye yayılır ve tuzaklanan enerjili elektronlarla etkileşerek bunların alt iyonküreğe yağmasına sebep olur ve burada ikinci bir iyonlaşma meydana getirir.



Şekil 1.1. Yer-İyonküre Dalga klavuzu, D bölgesindeki N_e değişimini ve VLF yayılımını etkileyen karışıklıkların gösterimi [63].

2. İYONKÜRE

2.1 Yer-İyonküre Dalga Kılavuzu

VLF yayılımında, yer yüzeyi ve iyonkürenin alt bölgesi iyi birer elektriksel iletken gibi davranırlar. Yer-iyonküre dalga kılavuzunun genişliği, iletken yeryüzü ve D bölgesinin alt yüksekliği arasındaki bölge olarak tanımlanır ve elektromanyetik dalganın frekansına ve D-bölgesi elektron yoğunluğunun günlük varyasyonlarına bağlı olarak değişir. Yer-İyonküre dalga kılavuzunda yayılan VLF dalgalarının zayıflaması çok küçüktür. Yaklaşık olarak 2–3 dB/Mm civarındadır [29]. Yer yüzeyinin deri kalınlığı ($\delta \approx 1/\sqrt{\omega}$) 10 kHz’de deniz suyu için ~2,5 m ($\epsilon_r = 81$, $\sigma = 4$ S/m) ve toprak için ~500 m ($\epsilon_r = 3$, $\sigma = 10^{-4}$ S/m)’ dir [30]. Deri kalınlığı 30 km’den az olduğu zaman denizaltı iletişimi gibi yeryüzünde yapılan yayınlar daha rahat bir şekilde yapılırlar.

Yer-iyonküre dalga kılavuzunun üst sınırı alt iyonküre olarak kabul edilir. Burası, iyon ve nötr moleküllerin hareketlerinin genellikle ihmal edildiği zayıf iyonlaşmış bir gaz ortamıdır ve elektronların nötr hava molekülleri ile çarpışmalarının oranı, elektron ve nötr sıcaklıklarla ifade edilir [31]. “Manyetoiyonik” teori bu bölgedeki düzenli düzlem dalga yayılımı için kırılma indisini, vektör manyetik alanı, dalga frekansı, yerel plazma frekansı ($\omega_p = \frac{N_e q_e^2}{m_e \epsilon_0}$), elektron dönme frekansı ($\omega_c = \frac{q_e |B|}{m}$) ve elektron-nötr çarpışma frekansı (ν_e) ile tanımlar. Çünkü çarpışma frekansı, plazma ve dönme frekansından çok büyüktür ve dolayısıyla Yer yüzeyinde belli bir uzaklıktan gelen değişik VLF dalgaları için kırılma indisi yaklaşık olarak tektir. D bölgesinin alt kısmında kırılma indisi, dalga yolu üzerindeki serbest elektron yoğunluğunun (N_e) artışına bağlı olarak hızlı bir şekilde değişir. VLF yayılımı için bu bölge, elektron-nötr çarpışmalarına bağlı olarak kayıplı bir ortamdır ve yerin manyetik alanı tarafından etkilenen elektron dönme frekansına bağlı olarak izotropik değildir [32].

Yer-iyonküre dalga kılavuzundaki VLF yayılımını tanımlamak için genelde iki metot kullanılır. Işın optik yaklaşımında, verici ve alıcı arasındaki sinyal yayılımı yayılım doğrultusundaki bütün noktalarda sınır şartlarını sağlayan sonsuz sayıdaki ışınların analizleri ile yapılır. Işınlar bir doğru boyunca yayılır ve sınırlardan yansır. İlk bileşen vericiden alıcıya doğrudan gider. İkincisi üst sınırdan bir kez, üçüncüsü iki kez ve böyle

yansıyan bileşenlerle devam eder. Alıcıdaki elektromanyetik sinyal, bütün bu ışınların üst üste binmesi ile elde edilir. Dalga kılavuzu eksenine bağlı olarak artan açıyla birlikte yayılan bu ışınlar, artan yayılım yolu uzunluğuna ve kayıplı yansımaların çokluğuna bağlı olarak sinyal zayıflamasında artışa sebep olurlar. Işın optik yaklaşımı, daha uzak mesafelerdeki (> 500 km) sinyal karakteristiklerini tanımlamak için uygun değildir. Çünkü aşırı derecede fazla olan farklı ışın yollarını hesaba katmak gerekir. Ayrıca bu metot alan yoğunluğunun yol boyunca birçok noktada hesaplanmasının gerektiği durumlar için kullanışlı değildir [33].

Dalga kılavuzundaki sinyal yayılımı için ikinci metot ise dalga kılavuzu mod teorisidir. Bu teoride, dalga kılavuzunda herhangi bir noktadaki alan, farklı dalga kılavuzu modlarının toplamıyla tanımlanır [34]. Mükemmel iletim duvarlarına sahip paralel-plakalı dalga kılavuzunun x eksenine doğrultusu boyunca yayılan bir dalga için Maxwell denklemlerinin çözümleri üç kategoriye ayrılır bunlar; enine elektrik (TE) (dalgalar $E_x = 0, H_x \neq 0$), enine manyetik (TM) dalgalar ($E_x \neq 0, H_x = 0$) ve enine elektromanyetik (TEM) dalgalarıdır ($E_x = 0, H_x = 0$).

Gerçekte TM_0 olan TEM modunun bir kesim frekansı ($f_{c_m}=0$) yoktur ve herhangi bir frekanstaki dalgalar bu modda yayılabilirler. Herhangi bir dalga frekansı için, dalga kılavuzu geometrisi dalga enerjisinin yayılabileceği sonlu sayıda mod seçer. Örneğin, $h=85$ km olan bir dalga kılavuzu ve 3 kHz'lik frekans değeri için sadece iki mod yayılabilir. Bunlar TM_0 ve TE_1 , TM_1 modları ve kesim frekansları 0 ve 1.76 kHz'dir. TE_2 ve TM_2 modlarının kesim frekansları 3.53 kHz'dir. 30 kHz'lik dalga için 18 yayılım modu vardır [35].

VLF yayılım teorisinde genellikle amaç, dalga kılavuzunun herhangi bir noktasındaki elektromanyetik alanı hesaplamaktır, dolayısı ile bu hesaplama mümkün olan bütün dalga kılavuzu modlarının toplanması ile yapılabilir. Yayılım yolu boyunca herhangi bir noktadaki toplam alan, bütün modların süper pozisyonundan elde edilir. Bu da dalga kılavuzu boyunca karmaşık bir alan sağlar ve farklı modlar arasında hem yıkıcı hem de yapıcı girişimlere sebebiyet verebilir.

2.2. İyonkürenin D Bölgesi

İyonkürenin 50–100 km arasında kalan zayıf iyonlaşmış bölgesi D bölgesi olarak tanımlanır. Bununla birlikte radyo dalgaları, D bölgesinde yayılırken elektronlar ve nötrler arasındaki çarpışma frekanslarına bağlı olarak soğurulurlar. 100 kHz'in altındaki frekanslarda yansıma etkileri de önemlidir. D bölgesinin standart bir tanımına göre bu bölge 1 ile 1000 MHz arasındaki radyo dalgalarının zayıflamasının çoğundan sorumludur. Bu tanımlama, D bölgesinin radyo yayılımı üzerindeki önemli etkisini ve düşük frekanslarda bu bölgenin yansıma özelliklerinin deneysel ve teorik çalışmalar üzerindeki önemini açıkça belirtir

Gündüz D bölgesindeki serbest elektronların en önemli kaynağı Güneş'ten gelen mor ötesi Lyman α yayılımı (1215,7Å dalga boylu) ile nitrik oksidin (NO) iyonlaşmasıdır [36]. Diğer önemli kaynak ise 1027–1118 Å dalga boyu arasındaki mor ötesi yayılımı ile uyarılmış oksijen (O₂) moleküllerinin iyonlaşmasıdır. Güneş'ten gelen X ışınları 90 km'nin üzerinde önemli rol oynar. Gece NO⁺ iyonu D bölgesinde baskın temel pozitif iyonudur [37]. Orta enlemdeki gece D bölgesi, Ekzoküre'den (atmosferin 500–700 km üstü) saçılan hidrojen Lyman α yayılımı ve yerin radyasyon kuşaklarından çökelen enerjili elektronların (>40 keV) sabit akısı tarafından oluşturulur [38, 39]. Galaktik kozmik ışınlar (>10⁹ eV protonlar) hem gündüz hem de gece sırasında 50 km'nin altındaki bölge için en önemli kaynaklardır [40].

D bölgesindeki elektron yoğunluğunun ölçülmesinde, roketten yayılan iki yüksek frekanslı sinyalin diferansiyel fazının yer-tabanlı ölçümleri, yüksek frekanslı radyo alıcılarından yayılan sinyallerin kısmi yansımaları ve örnek elektron yoğunluğu eğrileri kullanılarak, D bölgesinden alt iyonküre VLF dalgalarının yansımasından alınan verilerin işlenmesi gibi birkaç teknik geliştirilmiştir [41, 42, 43]. VLF tekniği zor bir veri yorumlama işlemi gerektirir, bu sayede VLF sinyallerinin sürekli faz gözlemleri D bölgesinin elektron yoğunluğunun günlük değişimini en iyi şekilde gösterme imkânı sağlar. Tüm bu metotlar kullanılarak yapılan gözlemler, D bölgesinde hem gündüz hem de gece elektron yoğunluğunun oldukça değişken olduğunu ortaya çıkarmıştır [38]. Gece D bölgesinde elektron yoğunluğundaki bu değişkenlik Wait ifadesi olarak bilinen elektron yoğunluğunun üstel artışının kullanıldığı temele dayanır [44].

$$N_e(z) = 1.43 \times 10^7 \exp(-0.15h') \exp[(\beta - 0.15)(z - h')] \quad (2.1)$$

Burada, h' , km olarak referans yüksekliğini, β , eğrinin keskinliğini tanımlayan ve km^{-1} biriminde ölçülen bir parametredir. β ve h' her ikisi de Güneş'ten gelen zenith açısı ile değişir ve $h' = 85 \text{ km}$ ile 87 km 'lik yükseklik değerlerine sahip iken, gece için $\beta = 0,5 \text{ km}^{-1}$ dir [44, 45].

D bölgesinin kimyası çok karmaşıktır ve hala tam olarak anlaşılammıştır. Temel nötr bileşenler N_2 ve O_2 dışında O, O_3 , NO, NO_2 , CO_2 , H_2O gibi küçük bileşenler ve meteoroidlerden kaynaklanan Mg, Si, Na, Fe gibi bileşenler D bölgesinin kimyasında önemli rol oynarlar. Elektronlar ve pozitif iyonlar foto iyonlaşma ile, negatif iyonlar ise elektronların nötrlerle bağlanması ile üretilir. $\sim 70 \text{ km}$ 'nin altında baskın iyonlar, H_3O^+ , H_5O^+ gibi sulu moleküler iyonlar ve $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ ağır iyon gruplarıdır. Pozitif moleküler iyonların elektronlarla yüksek birleşme oranlarına bağlı olarak gece D bölgesi elektron yoğunluğu keskin bir şekilde azalır ve D bölgesi Güneş'in batışından itibaren $\sim 80 \text{ km}$ 'nin altında fiilen kaybolur. Bu etki, gündüz ve gece D bölgesi elektron yoğunlukları değişimleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

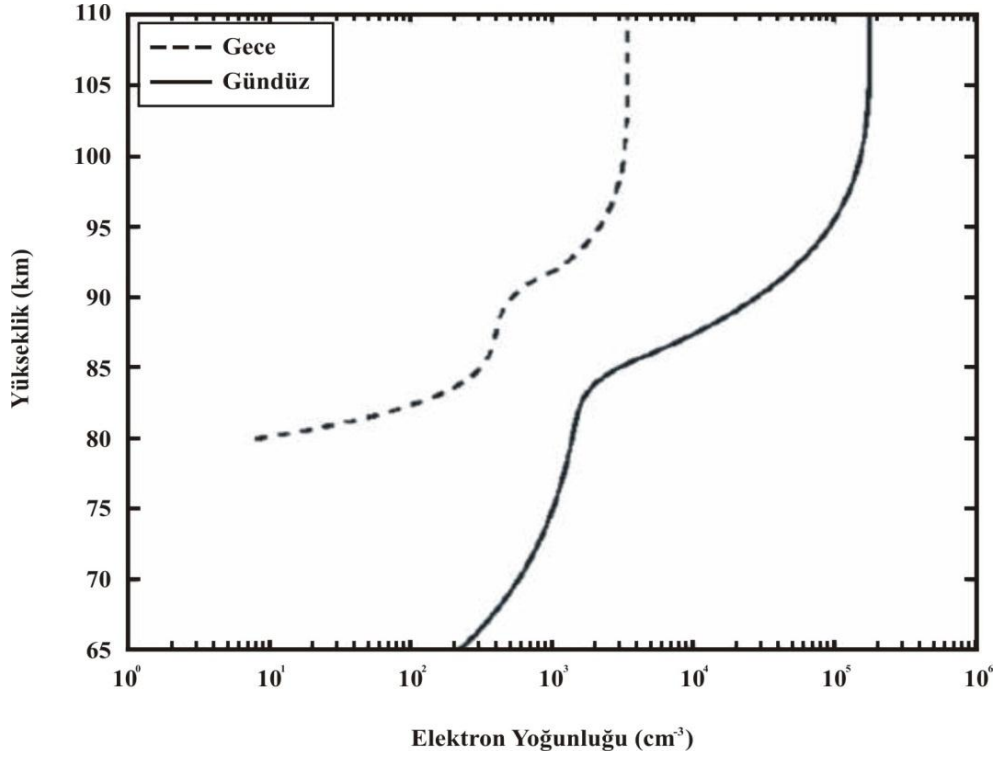
D bölgesinde serbest elektron kaybına yol açan en önemli süreçler, ayrışarak tekrar birleşme ve üç-kısımlı bağlanma reaksiyonlarıdır. Ayrışarak tekrar birleşme sürecinde, bir elektron moleküler iyon tarafından yakalanır ve daha sonra bileşenlerine ayrılır.



Bu süreç için reaksiyon katsayısı, $\sim 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ 'dir ve süreçte yer alan pozitif iyonlar N_2^+ , O_2^+ ve NO^+ dır. D bölgesindeki yüksek nötr yoğunluklarına bağlı olarak üç-kısımlı çarpışmaları kapsayan bağlanma süreçleri, negatif iyonların üretiminde etkili olan serbest elektronların kayıplarına katkıda bulunur. O_2 'yi içeren bu tip reaksiyonlardan en önemlisi aşağıda verilmiştir.



Burada M, enerji ve momentumu korumak için reaksiyonda gerekli olan O_2 gibi bir nötr bileşeni tanımlar. O_2^- iyonu ise O^- , O_3^- ve NO_2^- gibi negatif iyonların üretiminde ortaya çıkan diğer bileşenlerle reaksiyona girer.



Şekil 2.1. Gece ve gündüz D bölgesi elektron yoğunluğunun değişimi [29].

Tablo2.1. Gece D bölgesi parametreleri [29].

D-Bölgesi Parametreleri	60 km	70 km	80 km	90 km
Nötr yoğunluk, n_n [cm^{-3}]	7.53×10^{15}	1.96×10^{15}	2.84×10^{14}	3.93×10^{13}
Sıcaklık [$^{\circ}\text{K}$]	245	173	168	176
Plazma yoğunluğu, N_e [cm^{-3}]	< 0.1	< 1	50	5×10^2
Plazma frekansı, ω_p [rads^{-1}]	1.8×10^4	5.6×10^4	4.0×10^5	1.3×10^6
İyon-nötr çarpışma frekansı, ν_{in} [s^{-1}]	3.64×10^6	9.46×10^5	1.37×10^5	1.89×10^4
Elektron-nötr çarpışma frekansı, ν_{en} [s^{-1}]	6.36×10^7	1.39×10^7	1.99×10^6	2.79×10^5
Manyetik alan [G]	0.436	0.434	0.432	0.430
Elektron dönme frekansı [rads^{-1}]	7.68×10^6	7.64×10^6	7.61×10^6	7.57×10^6
Elektriksel İletkenlik [S/m]	4.4×10^{-11}	2.0×10^{-9}	1.4×10^{-7}	5.0×10^{-5}
Temel pozitif iyonlar	$\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$	$\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$	$\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, NO^+ , O_2^+	NO^+ , O_2^+
Temel negatif iyonlar	HCO_3^- , NO_3^- , CO_3^- , CO_4^- , O_2^-	HCO_3^- , NO_3^- , CO_3^- , CO_4^- , O_2^-	HCO_3^- , O_2^-	

2.3. VLF Sinyal Tedirginlikleri

Yıldırımlar, geçici yüksek akımlı elektrik boşalmalarıdır ve atmosferde birkaç kilometre boyunca yayılırlar. Yer üzerinde ortalama her saniyede yaklaşık 40 adet yıldırım boşalması oluşur. Bir yıldırım boşalması ELF ve VLF frekanslarında elektromanyetik dalgalar yayar [46]. Bu ELF/VLF dalgaları Yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılırlar [47]. Bir yıldırım boşalması ile yayılan elektromanyetik güç, ortalama 20 GW' tır ve ~100 µs sürer. Bu elektriksel boşalmaların insan yaşamı ve küresel atmosferik ortam üzerinde birçok etkisi vardır. En belirgin yıldırım etkileri, güç ve haberleşme sistemlerinde bozulmalara, orman yangınlarına ve bazen de doğrudan yaralanmalara ve ölümlere sebep olmalarıdır. Yıldırım ayrıca atmosferik elektrik akımlarını, manyetoküredeki yüklü parçacık yoğunluğunu ve Yer-iyonküre dalga kılavuzundaki radyo ortamını etkiler [48, 49, 50].

2.3.1. Yıldırım-Etkili VLF Sinyal Tedirginlikleri

İki türlü yıldırım-etkili VLF olayları vardır. Bunlar Erken/Hızlı (Early/Fast) ve yıldırım-etkili elektron yağışı (Lightning-induced Electron Precipitation, LEP)'dır. Erken/Hızlı VLF olayları, yıldırım boşalmalarının alt iyonkürenin iletkenliğini doğrudan etkilemesi sonucunda ortaya çıkar. LEP olayları ise, alt iyonküresel iletkenlik değişimlerinin dolaylı olarak etkilenmesidir.

2.3.1.1. Erken/Hızlı VLF Olayları

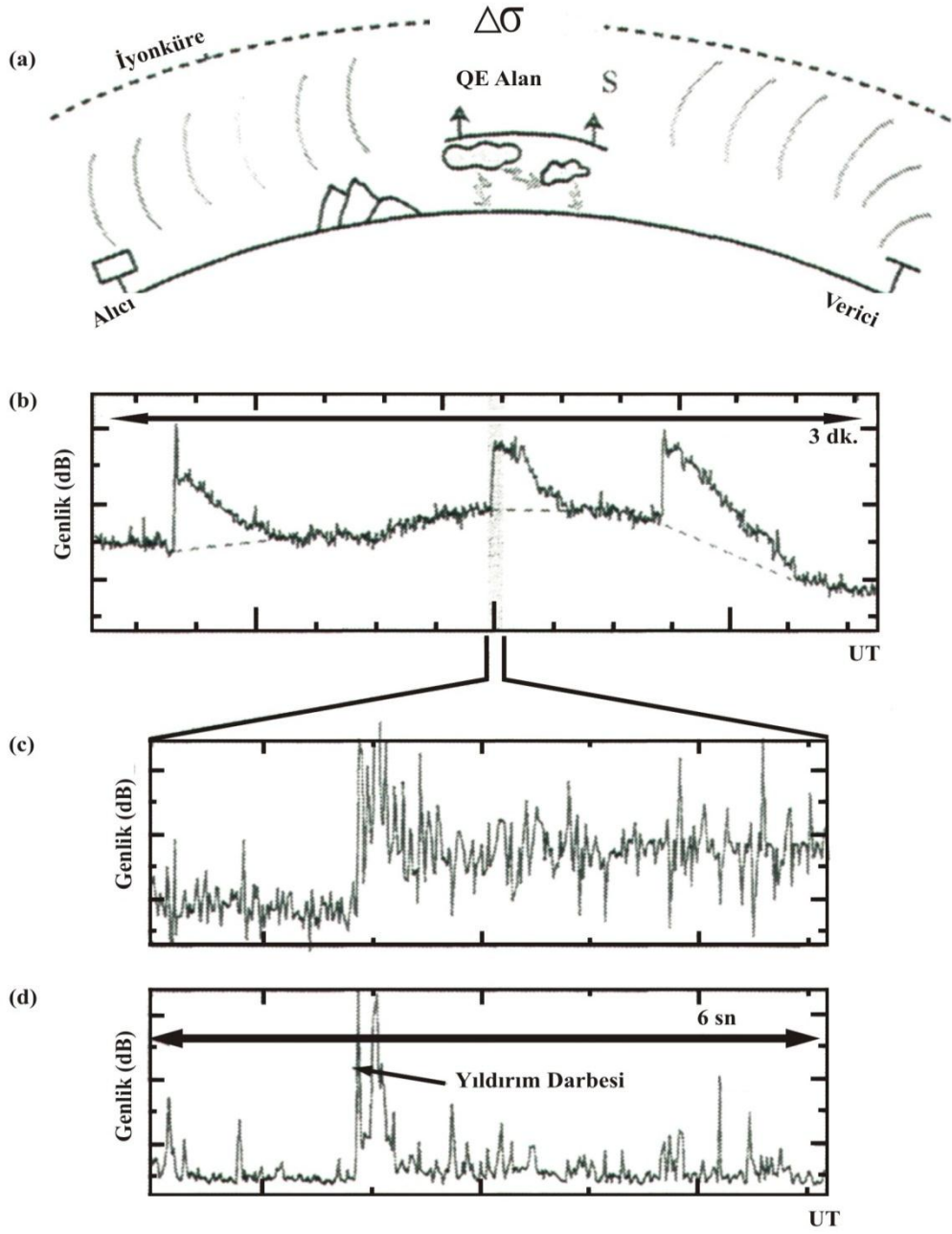
Erken/Hızlı VLF olayları, neden olan yıldırım boşalmasının ardından yaklaşık 20 ms içinde oluşur ve oldukça yavaş bir geri dönüşüm (onlarca saniye) gösterir [51].

Bu olayların altında yatan fiziksel mekanizma henüz nicel olarak tam anlaşılamamıştır. Hemen hemen elektrostatik (Quasi-electrostatic) fırtına bulutları, iyonkürenin D bölgesini ısıtabilir ve aktif bir yıldırım etkili fırtına boyunca bu bölgenin iletkenliğini geçici olarak değiştirebilirler. Fırtına bulutunun yükündeki yıldırım-etkili değişimler, D bölgesinin yerel ısıtma/soğutma sabiti değerlerinde küçük değişimlere sebep olurlar ve bunun sonucunda alt iyonkürede yayılan VLF sinyallerinin gece yansıma yüksekliği (~85 km) değişir. Ayrıca bu olaylar, yıldırım tarafından yayılan elektromanyetik darbeler ile üretilen ikincil iyonlaşma

ve Elves olarak bilinen optiksel boşalmalar veya iyonlaşma sütunları olarak bilinen Sprites ile ilişkilidirler [52, 53].

Şekil 2.2’de alıcı ile verici arasındaki Yer-İyonküre dalga klavuzu, üç dakikalık zaman periyodunda oluşan hızlı sinyal değişimi ve üstel olarak eski sinyal seviyesine dönüşümü ve olaya neden olan yıldırım darbesi gösterilmiştir. Tipik bir Erken/Hızlı olayın başlangıcı, neden olan yıldırımla eş zamanlı olmalıdır. Erken/Hızlı VLF olayları alıcı ve verici arasındaki sinyalin 50 km yakınında yıldırım boşalmaları olursa gözlenir ve bu karışıklıklar iyonkürede yatay olarak ~100–150 km bir uzunluğa sahiptirler [22, 51].

Erken/Hızlı olayların genlik ve faz büyüklüklerinde gözlenen değişimler, ilişkili iyonküresel tedirginliğin saçılma özellikleri tarafından belirlenir. Erken/Hızlı VLF olaylarını üreten iyonküresel tedirginliklerin iletkenlik değişimi ve fiziksel doğası tartışmaları sürmesine rağmen tedirginliğin VLF saçılma modeli, çoğunlukla olayın yatay boyutu ile tanımlanır [54, 55]. Dar tedirginlik genişlikleri (<50 km) için, saçılma modelinin açısız genişliği, azalan tedirginlik çapı ile artar ve çap olarak bir dalga boyundan (~15 km) küçük olan tedirginlikler için hemen hemen izotropik olur. Herhangi bir tedirginlik bölgesi için, iyonküresel tedirginlik genişliği, saçılma modelinin açısız genişliğinin minimize edildiği zaman oluşur ve ileri yönde odaklanan bir ışın üretir.



Şekil 2.2. Erken/hızlı olay oluşumunun genel gösterimi. **a)** Alıcı ve verici arasındaki yayılım yolu ve olay ile iyonküre etkileşimi. **b)** Alıcıya gelen sinyalin 3 dakikalık örneği. **c)** Ortadaki olayın büyütülmüş hali. **d)** Olayın başlangıcı ile birlikte neden olan yıldırımın gösterimi.

2.3.1.2. Yıldırım-Etkili Elektron Yağışı Olayları (LEP)

LEP olarak bilinen VLF olayları, bir yıldırım boşalmasıyla birlikte başlangıç gecikmesi (birkaç yüz milisaniyeden 1 sn), başlama süresi (tipik olarak 0.5–1.5 sn) ve 10–100 sn bir geri dönüşüm periyodu gösterir [56]. Bu olay ilk olarak Mike Trimpi tarafından Antarktika'daki VLF verici sinyalleri gözlemleri yapılırken tespit edilmiştir [57]. VLF olayları ile ilgili 1970–1980 yılları arasındaki literatürlerin çoğunda “Trimpi” olayları olarak tanımlanmıştır. VLF verici sinyal tedirginlikleri, saçılan enerjili elektronlar tarafından VLF yansıma yüksekliğindeki ikincil iyonlaşma olarak tanımlanır. Günümüzde uydularla, roketlerle ve alt iyonküresel VLF uzaktan algılama teknikleri ile bu olayları kanıtlayan birçok deneysel sistem vardır [58].

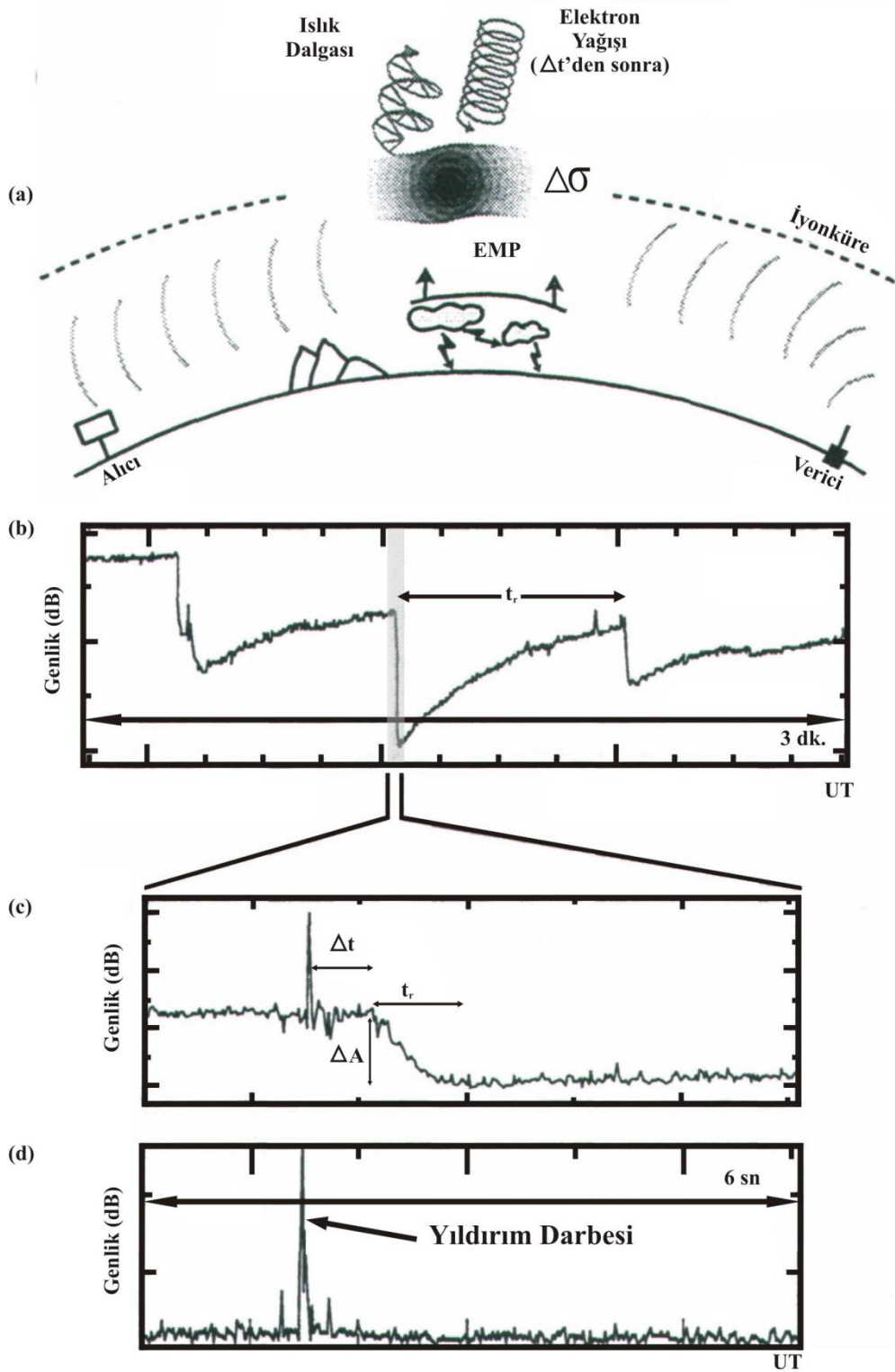
LEP olaylarının fiziksel mekanizması, manyetoküresel dalga-parçacık etkileşim sürecini kapsar. Bir yıldırım boşalması ile yayılan enerjinin bir kısmı manyetoküreye kaçar ve burada ıslık (Whistler) dalgaları olarak yayılır. Yer'in radyasyon kuşağındaki tuzaklanmış elektronlarla etkileşir ve eğim açılarını (pitch angle) değiştirir. Kayıp konisine yakın elektronların alt iyonküreye yağmasına sebep olur. Bu yağın yüksek enerjili elektronlar ikincil iyonlaşmaya neden olur [25].

Bu olayları doğrudan oluşan olaylardan ayıran önemli iki fark vardır. Birincisi, neden olan yıldırım boşalması doğrudan tedirginliğe uğramış bölgenin altında olması gerekmez ve bunun yerine daha alt enlemlerdedir. İkincisi ise saçılan bölgelerin büyüklüğü genellikle 100 km den çok daha büyüktür. LEP tipi VLF olayları için, başlangıç gecikmesi (Δt) ve t_d zamanı ıslık dalgalarının yayıldığı jeomanyetik alan çizgilerinin L kabuğuna bağlıdır. Şekil 2.3'de alıcı ile verici arasındaki Yer-iyonküre dalga kılavuzunda oluşan yıldırım-etkili elektron yağışının sinyal üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Bir LEP olayını tanımlayan dört adet geçici karakteristik değer vardır. Bunlar;

1. Gecikme Zamanı (Δt): LEP olayına sebep olan yıldırım boşalması ile VLF sinyalinde LEP olayı etkisinin oluşmaya başlaması arasındaki zaman gecikmesi olarak tanımlanır. Bu süre sırasıyla yıldırım boşalması tarafından üretilen ıslık dalgasının manyetokürede yayılması, dalganın radyasyon kuşaklarındaki elektronlarla etkileşmesi ve yerin manyetik alan çizgilerinden saçılan elektronların iyonküreye yağmaya başlamasına kadar geçen zamandır.

2. **Oluşum Süresi (t_a):** Olayın başlaması ile genlik değişimindeki artışın son bulması arasındaki zaman olarak tanımlanır. Genlikteki artış pozitif veya negatif olabilir. Ayrıca bu zaman iyonküreye ne kadar süreyle elektron yağışı olduğunu gösterir.
3. **Oluşum Şiddetindeki Değişim Miktarı (ΔA):** Meydana gelen LEP olayının sinyal genliğindeki değişim miktarıdır ve dB cinsinden tanımlanır. Pozitif veya negatif yönde değişim olabilir. Onun için mutlak değer olarak tanımlanır.
4. **Geri Dönüş Zamanı (t_r):** Sinyalin tekrar eski haline dönmesi için geçen zaman olarak tanımlanır. İyonkürenin tekrar normal haline dönmesi için geçen süredir.



Şekil 2.3. LEP olayının genel gösterimi. **a)** Alıcı ve verici arasındaki yayılım yolu ve yıldırım-etkili elektron yağışı. **b)** Alıcıya gelen sinyalin 3 dakikalık örneği ve t_r geri dönüşüm süresi. **c)** Ortadaki olayın büyütülmüş hali ve neden olan yıldırıma bağlı olarak t_d süresi, olayın büyüklüğü ΔA ve başlangıç gecikmesi Δt karakteristikleri ile birlikte bir LEP olayı örneği. **d)** Olaya sebep olan yıldırım darbesinin sinyal üzerindeki görünümü.

Tablo 2.2’de LEP olayını tanımlayan bu karakteristiklerin değişim aralıkları verilmiştir:

Tablo 2.2. LEP olayını tanımlayan karakteristiklerin değişim aralıkları [59].

LEP Karakteristikleri	Değişim Aralıkları
Gecikme Zamanı	$0.2 \text{ sn} \leq \Delta t \leq 2.5 \text{ sn}$
Oluşum Süresi	$0.5 \text{ sn} \leq t_d \leq 5 \text{ sn}$
Oluşum Şiddetindeki Değişim Miktarı	$0.5 \text{ dB} \leq \Delta A \leq 10 \text{ dB}$
Geri Dönüş Zamanı	$10 \text{ sn} \leq t_r \leq 100 \text{ sn}$

2.4. Jeomanyetik İndeksler

Yer’in günlük manyetik alan değişimleri, Güneş’ten gelen parçacık değişimlerinin sebep olduğu akım sistemlerinin sonucunda oluşur. Güneş rüzgârlarının manyetoküre ile etkileşimi, manyetokürenin kendisinin, manyetoküre ile iyonküre arasındaki etkileşimin ve iyonkürenin kendisinin sebep olduğu düzensiz akım sistemleri de yerin manyetik alanında değişimler oluştururlar. Manyetik aktivite indeksleri bu düzensiz akım değişimlerinin jeomanyetik alanda sebep oldukları değişimleri tanımlamak için türetilmişlerdir.

2.4.1. Kp İndeksi

Jeomanyetik tedirginlikler, yeryüzündeki manyetik gözlemleri tarafından manyetik alan bileşenlerinin kaydı yapılarak incelenir. Yerel tedirginlik seviyeleri, en fazla etkilenen yatay manyetik alan bileşeni için üç saatlik zaman aralıkları boyunca en düşük ve en yüksek değerler arasındaki farkın ölçülmesiyle tanımlanır. Bu fark, daha sonra yerel K indeksine dönüştürülmüş ve ilk olarak 1938 yılında Postdam yakınlarındaki Niemeğk manyetik gözlemevi için tanımlanmıştır. K indeksi, yerin manyetik alanının yatay bileşenindeki tedirginlikleri 0–9 aralığındaki tamsayılarla tanımlar. K indeksi için, beş ve üzerindeki değerler jeomanyetik fırtınaları ifade eder. K indeksi üç saatlik zaman aralığı boyunca bir manyetometre ile gözlenen yatay bileşenlerdeki maksimum dalgalanmalardan elde edilir. Maksimum dalgalanmalar (nT) ile K indeksi arasındaki dönüşüm Tablo 2.3’de verilmiştir. Bu dönüşüm istasyondan istasyona değişmesine rağmen K indeksinin uzun vadeli değişim ortalaması oranları dikkate alındığında bütün gözlemleri için yaklaşık aynı olduğu kabul edilir [64].

J. Bartels 1949 yılında istatistiksel metotlar kullanarak yeni bir küresel manyetik indeks olan Kp’yi tanımladı. Küresel Kp indeksi, seçilen 13 istasyonda manyetik alanın iki yatay

bileşeninde ölçülen tedirginlik seviyelerinin ortalama değerinden elde edilir. Kp “planetarische Kennziffer” (planetary index) anlamına gelmektedir.

Tablo 2.3. K indeksi ile maksimum dalgalanmalar arasındaki dönüşüm.

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

Kp indeksindeki 0’dan 9’a kadar olan her bir değer üçe ayrılmasıyla toplam 28 değer vardır. Bunlar; 00 , 0+ , 1- , 10 , 1+ , 2- , 20 , 2+ , -----, 80 , 8+ , 9- , 90’dır. Örneğin 5- $4\frac{2}{3}$, 50, 5 ve 5+ ise $5\frac{1}{3}$ demektir [65]. Kp indeksi, geçmişe yönelik olarak 1932 yılına kadar hesaplanmış olup bu tarihten günümüze kadar değerleri bilinmektedir.

Kp’den daha lineer bir indeks elde etmek için zaman aralığı üç saat olan ap indeksi türetilmiştir. Ap ise günlük ap değerlerinin ortalamasıdır. Kp ile ap arasındaki dönüşüm Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Kp ile ap arasındaki dönüşüm tablosu.

Kp	00	0+	1-	10	1+	2-	20	2+	3-	30	3+	4-	40	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	50	5+	6-	60	6+	7-	70	7+	8-	80	8+	9-	90
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

2.4.2. Dst İndeksi

Dst (Disturbance Storm Time) indeksi, yeri kapsayan manyetik fırtınaların seviyesini belirleyen jeomanyetik bir indekstir. Yer üzerinde orta-enlem ve ekvatorial istasyonlardan elde edilen jeomanyetik alanın yatay bileşenin ortalamasıdır. Negatif Dst değerleri, devam eden bir manyetik fırtınaya işaret eder. Negatif olarak büyük Dst, daha kuvvetli bir manyetik fırtınayı belirtir. Dst indeksindeki negatif sapmalar yer yüzü etrafında ekvatorial

düzlemde doğudan batıya doğru ilerleyen halka akımından (ring current) kaynaklanır. Halka akımı, yere yakın bölgedeki proton ve elektronların eğim farkları ve eğrilik sürtünmeleri sonucunda ortaya çıkan bir elektrik akımıdır ve şiddeti Güneş'ten gelen rüzgârların durumuna bağlıdır. Güneş rüzgârında doğuya doğru bir elektrik alan olduğu zaman halka akımında önemli bir artış olur ve buna bağlı olarak Dst indeksinde negatif bir değişime sebep olur. Güneş rüzgârlarının durumu ve Güneş rüzgârı ile halka akımı arasındaki bağlantı fonksiyonu bilinirse Dst indeksi tahmin edilebilir. Dst indeksi şiddetindeki değişimler ve bunların sınıflandırılmaları tablo 2.5'de verilmiştir [66].

Tablo 2.5. Dst indeksinin sınıflandırılması.

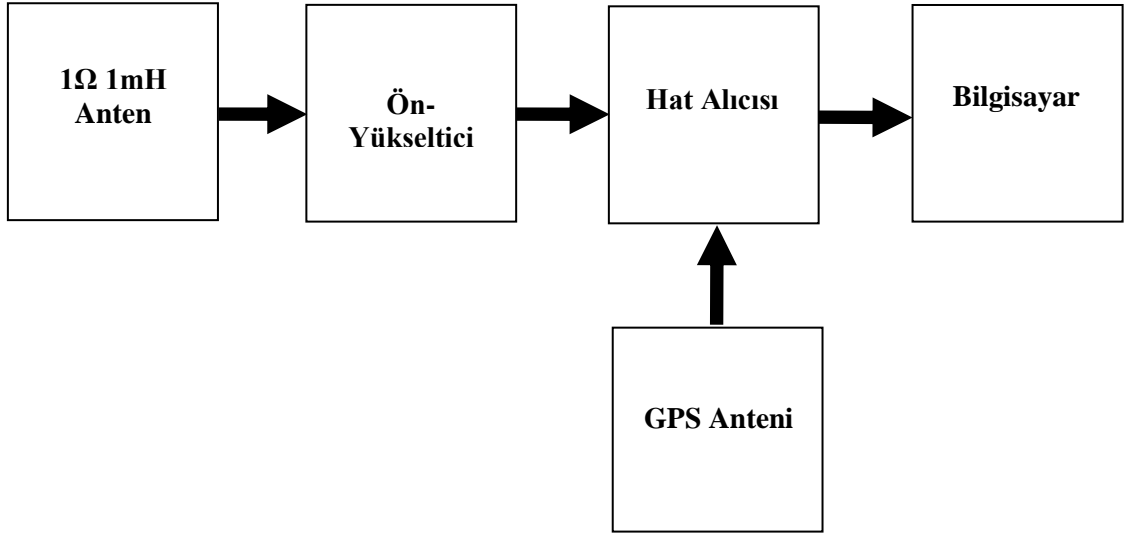
Düşük	Dst > -20 nT
Orta	-20 nT > Dst > -50 nT
Yüksek	-50 nT > Dst > -100 nT
Şiddetli	Dst < -100 nT

Dst indeksi, birer saatlik zaman aralığıyla ölçülür ve ekvator yakınındaki manyetometre istasyonlarından elde edilir. Bu enlemlerde manyetik tedirginliğin H bileşeni üzerinde, manyetoküresel halka akımının şiddeti hâkimdir. Dst indeksi ise bu tedirginliğin saatlik ortalamasını doğrudan ölçen bir indekstir. Büyük negatif tedirginlikler halka akımının şiddetindeki belirgin bir artışı ifade eder [67].

3. VLF SİSTEMİ

3.1. VLF Alıcı Sistemi

VLF Alıcı Sistemi sırasıyla; Anten, Ön Yükseltici (pre-amplifier), Hat Alıcısı (Line Receiver), Küresel Konum Sistemi (GPS) Anteni ve bilgisayardan oluşmaktadır. Antende elektromanyetik alan değişimlerinden elektriksel sinyaller oluşur. Ön yükseltici, sinyali fazla gürültü içermeyen yükseltir ve hat alıcısına gönderir. Hat alıcısı, sinyali filtreler, veriyi GPS zaman sinyaliyle senkronize bir şekilde işler ve bunların hepsi bilgisayara gönderilir. Bilgisayardaki yazılım kullanılarak sinyal ve zaman kaydedilir. VLF alıcı sisteminin çalışma prensibini gösteren blok diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir [60].



Şekil 3.1. VLF alıcı sistemi blok diyagramı.

3.1.1. VLF Anteni

Anteni oluşturan tel, bir çevrim oluşturacak şekilde sarılır. Böylece manyetik alan değişimleri antende küçük akımlar oluşturur. Antenler büyük ve küçük yapılabilir. Büyük antenler daha hassas olacaktır. Antendeki en önemli sınırlama anten kablo direncinin 1Ω ve indüktansının 1 mH olmasıdır. Çünkü diğer elektronik devreler bu karakteristiğe göre tasarlanmışlardır. Anten kurulumları için en uygun yer elektromanyetik gürültü

kaynaklarından uzak sessiz bir yerdir. Bütün yönlerden gelen sinyalleri yakalamak için birbirine dikey olan iki anten kurulması gereklidir. Antenlerden biri gelen sinyalin Kuzey/Güney (N/S) bileşenini, diğeri Doğu/Batı (E/W) bileşenini yakalar. Ön-yükseltici ve hat alıcısındaki bütün elektronik devreler, bu anten için tasarlanmıştır. Bizim kullandığımız anten 1.69 m², 12 sarımlı ve taban uzunluğu 2.6 m olan ikizkenar üçgen antendir ve Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi çatısına kurulmuştur ve bu antenin fotoğrafı Şekil 3.2’de verilmiştir:



Şekil 3.2. Fen Fakültesi çatısına kurulan VLF alıcı sisteminin anteni.

3.1.2. Bilgisayar ve Program

Veriler bilgisayarın içine yerleştirilen bir Analog-Dijital (ADC) kartla bilgisayara aktarılır. Bu kart National Instruments firması tarafından üretilmiş ve bilgisayarın PCI slotuna yerleştirilmiştir. Bilgisayarda Stanford Üniversitesindeki VLF grubu tarafından yazılmış ve Stanford DAQ diye isimlendirilen bir program vardır. Bu program, gelen verileri eşzamanlı olarak bilgisayara kaydeder ve verilerin bir bölümünü internet üzerinden Stanford Üniversitesi VLF grubuna gönderir. Veriler MATLAB veri dosyaları olarak kaydedilir. Ayrıca bu veriler bilgisayar hafızasında çok yer kapladığından DVD’lere ve harici hard disklere de kaydedilerek saklanır.

Programda kullanılan zaman evrensel (UT) zamandır. Evrensel zaman ile yerel zaman arasında 2 saat zaman farkı vardır. Programın sol üst köşesinde GPS den alınan zaman bilgisi, sistemin bulunduğu yerin enlem ve boylamı, tarih ve hat alıcısının iletişimde olduğu GPS uydu sayısı bilgileri mevcuttur. GPS uydu sayısının daima 5 veya daha fazla olması istenir. Programın sağ üst köşesinde genişband kaydıyla ilgili kontrol paneli vardır. Genişband kaydı yapmak veya yapmamak ve yapılan kaydın süresi ve sıklığı değiştirilebilir yapıdadır. Sistem Konfigürasyonunda ise sistemin bulunduğu yeri tanımlayan istasyon ismi, verilerin bilgisayarda kaydedildiği yeri gösteren yerel adres ve sistemin kayda başladığı saat ve sistemin kayıt süresi dakika olarak tanımlanmıştır. İstasyon ismi, yerel adres ve genişband kaydıyla ilgili değişiklikler şifre kullanarak yapılabilir ama başlangıç zamanıyla ilgili değişiklikleri yapmak için Matlab programını kullanarak giriş yapılmalıdır.

Veriler iki şekilde kaydedilir. Genişband (Broadband) ve Darband (Narrowband). Genişband analizinde kesim frekansları arasındaki bütün frekansların verileri vardır. Genişband kaydında her anten için saniyede 100.000 veri kaydedilir. Bu yüzden genişband veri dosyalarının boyutu büyük olur. Bir dakikalık genişband kaydı yaklaşık 23 MB yer kaplar. Genişband spektrumlarına Matlab programı kullanılarak bakılır.

Darband analizinde ise, sadece bir vericiye ait olan veriler kaydedilir ve incelenir. Program Fourier analizi ve demodulasyon kullanarak bir frekanstaki genlik ve faz değişimlerini kaydeder. Her verici için 4 adet veri dosyası vardır. Bunların iki tanesinde genlik, iki tanesinde de faz değişimlerinin kaydı vardır. Genlik ve faz değişimlerinin olduğu veri dosyalarının birinde saniyede 1 veri diğerinde ise saniyede 50 veri kaydedilir. Sadece darband verileri internet üzerinden Stanford Üniversitesine gönderilir.

Fizik Bölümü 'Elektromanyetik Dalga Laboratuvarı'nda' kurulu olan VLF alıcı sistemi her gün saat 13.05 UT'de kayda başlamaktadır ve 15 saat boyunca devam etmektedir. Genişband kaydı da 15 dakikada 1 dakika olarak yapılmaktadır. Elektromanyetik Dalga Laboratuvarında Kurulu sistemin fotoğrafı Şekil 3.3'de gösterilmektedir:



Şekil 3.3. Elektromanyetik dalga laboratuvarındaki VLF alıcı sisteminin genel görünümü.

3.2. VLF Vericileri

Yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılan VLF dalgaları yaklaşık 2–3 dB/Mm lik bir zayıflama oranına sahiptirler. Uzun dalga boylarına sahip olmalarından dolayı Yer ve deniz yüzeyinde kolaylıkla yayılabilirler. Yayılım özelliklerine bağlı olarak 10–50 kHz frekans aralığındaki VLF dalgaları askeri denizaltılar ve gemiler arasındaki iletişim için kullanılırlar.

100 ile 1000 kW arasında bir çıkış gücü elde etmek için metrelerce uzunluğa sahip büyük tek kutuplu antenlere ihtiyaç vardır. Böyle bir antende akım yayılımı, bir kısmı dipol gibi davranan diğer kısmı ise yer düzleminde yansıyan olmak üzere bir duran dalga şeklindedir [30].

Darband kaydı için sisteme Matlab programı kullanarak VLF vericilerinin frekansı, çağrı kodu ve hangi kanalın kullanılacağı girilir. Sistemimizde kayıtlı bulunan vericilerin listesi Tablo 3.1’de verilmiştir:

Tablo 3.1. Sistemde Kayıtlı Vericiler.

Frekans (Hz)	Çağrı Kodu	Yerleşim	Kanal
18300	HWU	Le Blanc, Fransa	NS-EW
19600	GQ2	Anthorn, İngiltere	NS
20270	ICV	Sardegna, İtalya	EW
20900	HWV	Rosnay, Fransa	NS-EW
21900	JJI	Ebino, Japonya	EW
22100	GQ1	Anthorn, İngiltere	NS
23400	DHO	Rhauderfehn, Almanya	NS
24000	NAA	Maine, ABD	NS
37500	NRK	İzlanda	NS
45900	SIC	Sicilya, İtalya	EW

3.3. Kullanılan Analiz Programları

3.3.1. Matlab Analiz Programları

Hail: Bu program ile istenilen vericilerden gelen sinyallerin günlük değişimleri ekranda görüntülenir ve istenilen noktalar yakınlaştırılarak gerçek olayların tespitinde kullanılır.

Eventdetector: Bir vericiden gelen günlük sinyal üzerinde oluşan VLF olaylarının zamanları ve büyüklüğü bulunarak bir txt. dosyasına yazılır. Ama bu programla tespit edilen VLF olaylarının hepsi doğru demek değildir. Onun için Hail programı ile her olay için günlük sinyaller tekrar gözle incelenmelidir.

Tempchar: Bulunan bir LEP olayının daha küçük bir ölçeğe aktarılarak geçici karakteristikleri tespit etmekte kullanılır.

Autodetect: Sinyal üzerinde oluşan tedirginlikleri otomatik olarak tespit etmek için geliştirilen programdır.

3.3.2. SPSS (Statistical Packages for the Social Sciences)

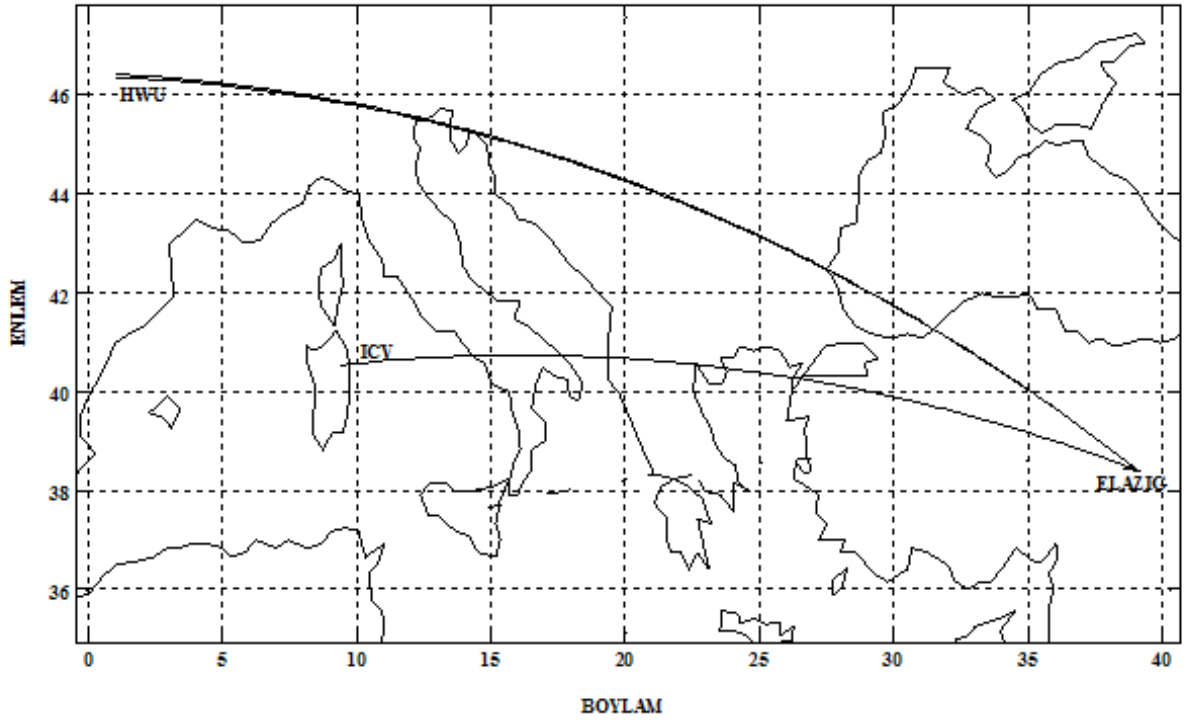
İlk sürümü 1968 yılında piyasaya verilmiş istatistiksel analize yönelik bir bilgisayar programıdır. Bu program adında anlaşılacağı gibi daha çok sosyal alanlarda akademik araştırmalar yapmak için kullanılır.

SPSS yazılımını birkaç farklı bilgisayar dosyası ile birlikte çalışmaktadır: Veri dosyaları, çıktı dosyaları ve sözdizimi (sentaks) dosyaları. Veri dosyaları, kullanıcının istatistiksel olarak analiz etmeyi istediği bilgileri içeren bilgisayar dosyalarıdır. Çıktı dosyaları istatistiksel analizleri ve genellikle tabloları, grafikleri ve/veya çizelgeleri içerir. Sözdizimi dosyaları, SPSS yazılımına ne yapması gerektiğini söyleyen bilgisayar talimatlarıdır [61].

4. BULGULAR

Bu bölümde, 2006 yılı Ocak-Haziran ayları arasında altı aylık 2 VLF verici istasyonundan gelen VLF sinyallerinin incelenmesi ile tespit edilen VLF sinyal tedirginliklerinin otomatik ve manuel olarak tanımlanması, jeomanyetik indekslerle olan ilişkileri detaylı olarak SPSS programı kullanılarak incelenmiştir.

Şekil 4.1’de bu araştırmada kullanılan 2 VLF verici istasyonu ve alıcı istasyonun yerleri harita üzerinde gösterilmiştir. Bu iki sinyalin frekansları, çağrı kodları yerleşim yerleri ve alıcıya olan uzaklıkları da tablo 4.1’de verilmiştir.

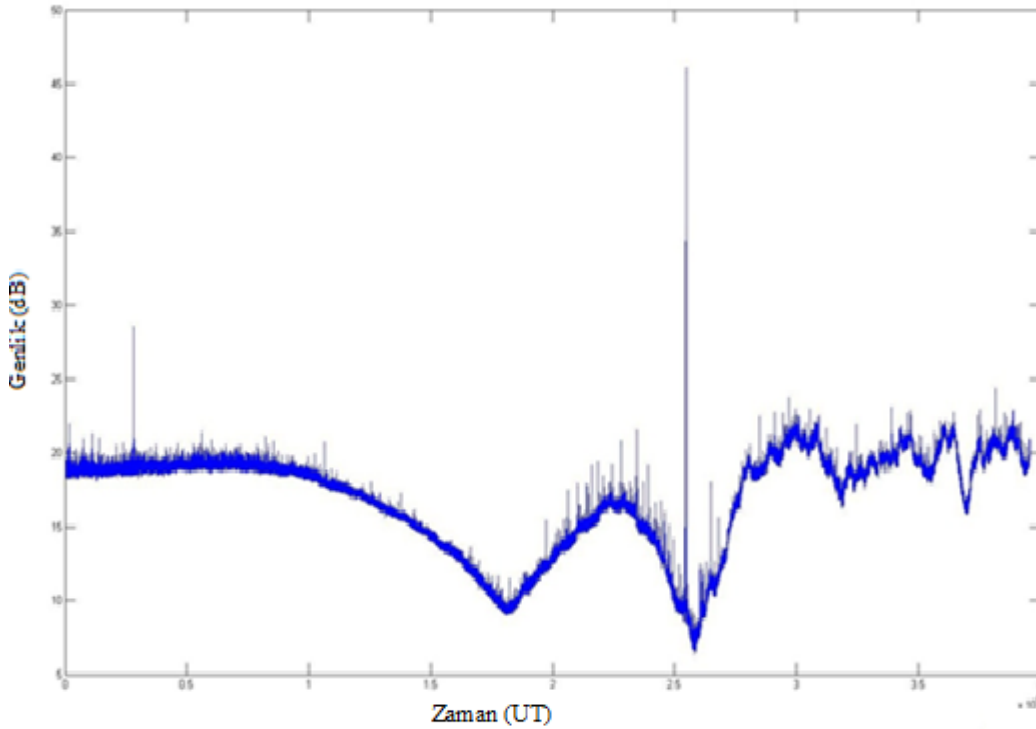


Şekil 4.1. VLF vericileri ve alıcısının harita üzerinde gösterimi.

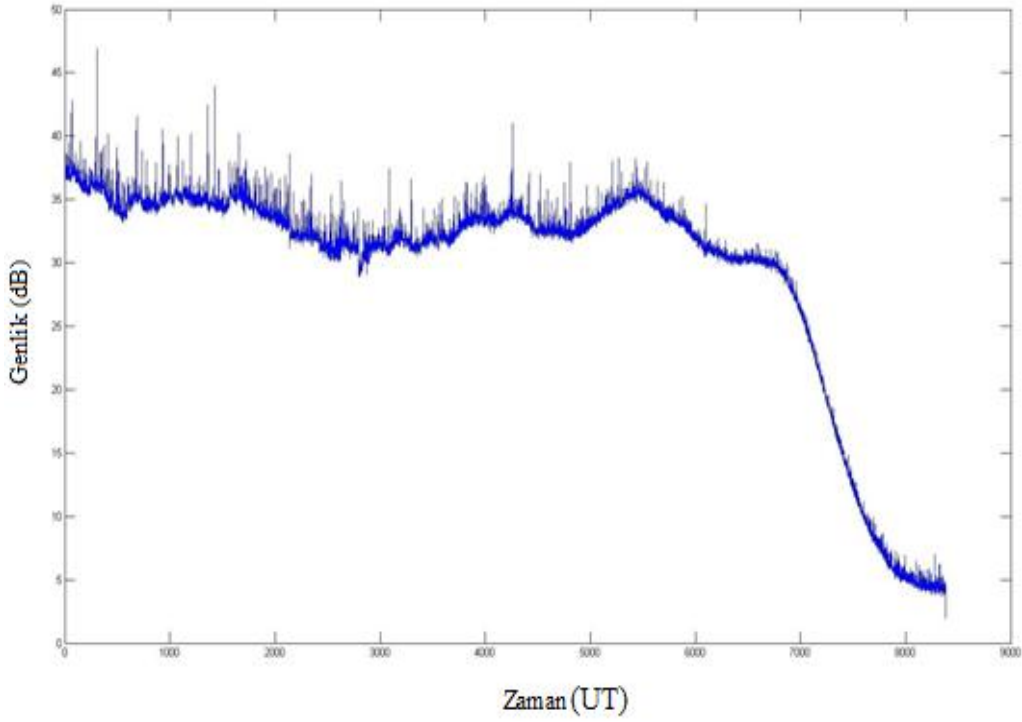
Tablo 4.1. Verici ile alıcı istasyonun frekans, çağrı kodu, yerleşim yerleri ve aradaki mesafeler.

Frekans (Hz)	Çağrı Kodu	Yerleşim	Mesafe (km)
18300	HWU	Le Blanc, Fransa (46 ⁰ 37' D, 1 ⁰ 05' K)	3220
20270	ICV	Sardegna, İtalya (40 ⁰ 55' D, 9 ⁰ 45' K)	2550
Alıcı	FF	Elazığ, Türkiye (38 ⁰ 40' D, 39 ⁰ 12' K)	-----

VLF vericilerinden gelen sinyaller her gün alıcı tarafından 13:05 UT den başlayıp ertesi gün saat 06:05 UT'ye kadar 17 saat süreyle kayıt yapılmaktadır. VLF vericilerinden gelen sinyallerin bir günlük değişimi Şekil 4.2 ve 4.3'de örnek olarak gösterilmiştir. Her bir vericiye ait sinyal ayrı ayrı incelenerek olayın sinyal üzerinde sebep olduğu değişiklikler tespit edilerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.2. HWU istasyonu 2006 yılı 15 Haziran'da alınmış VLF sinyal örneği.



Şekil 4.3. ICV istasyonu, 2006 yılı 9 Haziranda alınmış VLF sinyal örneği

Yapılan bu çalışmada her iki istasyon için altı aylık süre zarfında, toplam 160 gün ve ortalama 2520 saatlik sinyal incelenmiştir. Bunlar detaylı olarak Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. İncelenen gün ve saat değerleri.

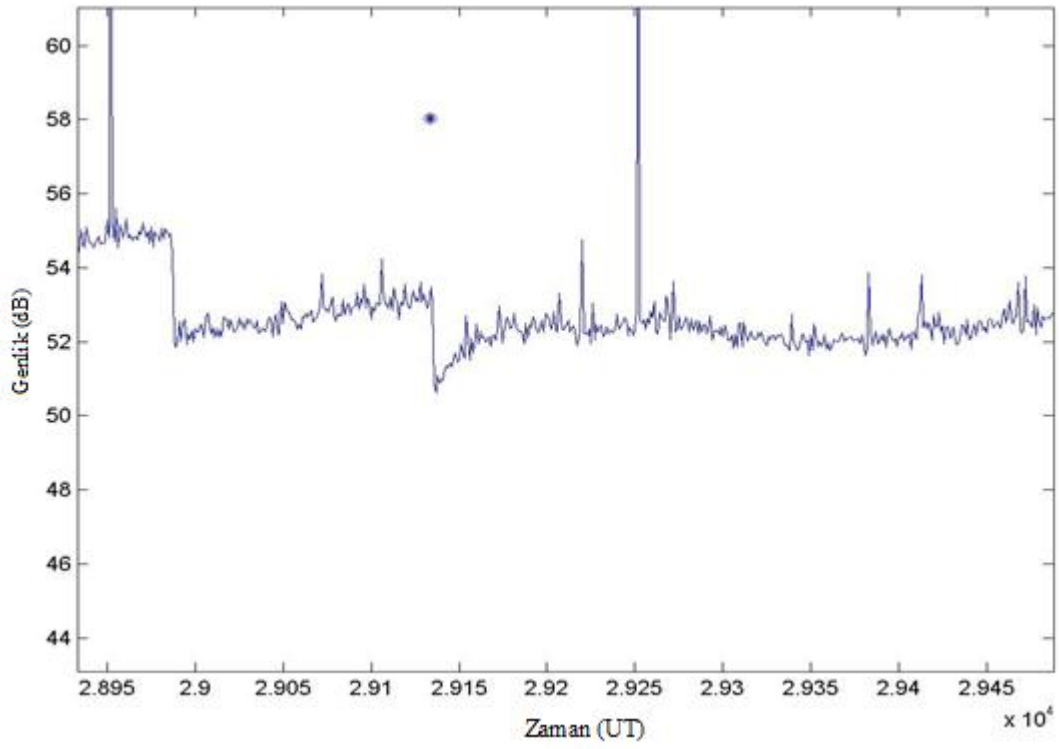
AYLAR	TOPLAMDA İNCELENEN GÜN VE SAAT SAYISI			
	HWU		ICV	
	GÜN	SAAT	GÜN	SAAT
OCAK	27	432	27	459
ŞUBAT	28	420	28	448
MART	31	527	31	434
NİSAN	29	493	29	464
MAYIS	24	360	24	360
HAZİRAN	21	294	21	357

Saatsel kısımlarda fark olmasının sebebi vericilerde oluşan kesintilerden kaynaklanmaktadır.

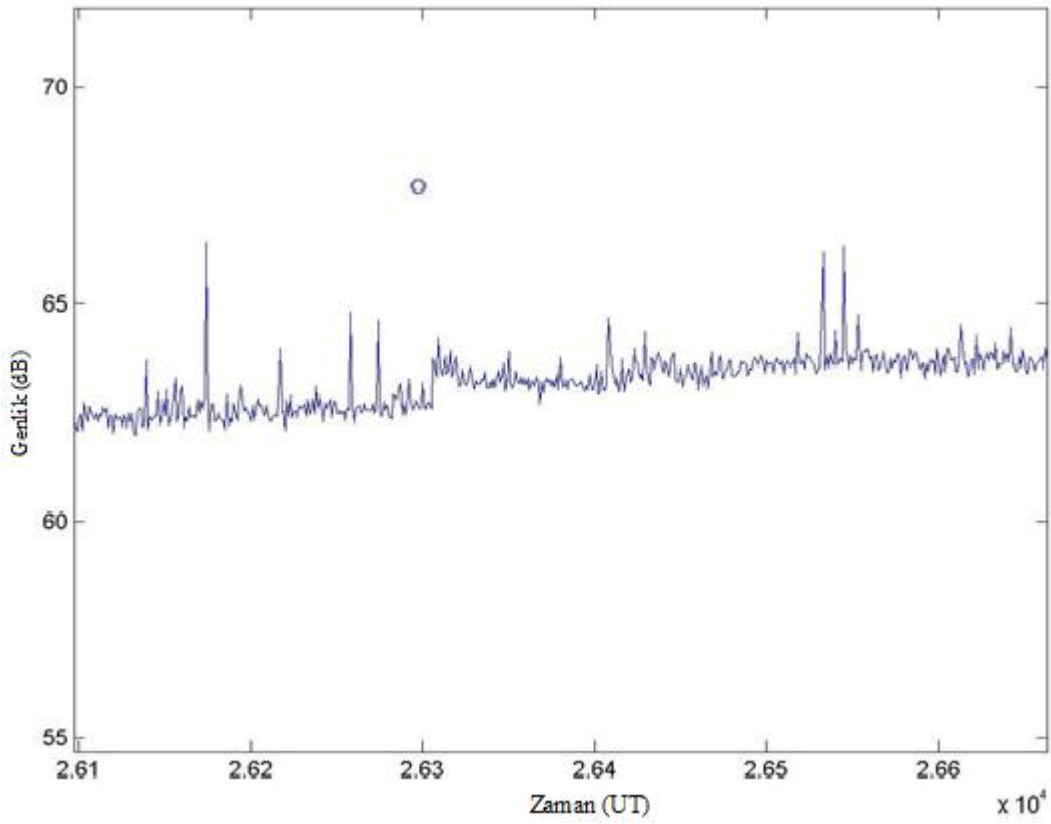
4.1. VLF Sinyal Tedirginliklerinin Otomatik Tespiti

VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri sağlıklı bir şekilde tanımlamak için genelde sinyaller manuel olarak yani gözle bakılarak tespit edilmektedir. Her sinyali gözle incelemek yorucu olmakla beraber çok zaman almaktadır. Çünkü bir sinyalin bir günlük değişimini incelemek demek 17 saatlik bir sinyal değişimini devamlı büyölterek ve küçölterek o sinyal üzerinde gezmeniz demektir. Bu amaçla tezin bu kısmında VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikleri otomatik olarak tespit eden bir program geliştirilmeye çalışılmış ve onun sonuçları değerlendirilmiştir.

VLF sinyallerinde oluşan tedirginliklerin temel sebepleri genelde E/F ve LEP olaylarıdır. Bu olaylar geçici karakteristikleri tarafından tanımlanır. Bunlar, oluşum süresi, oluşum şiddetindeki değişim miktarı ve geri dönüş zamanıdır. Bu karakteristikler ikinci bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Karakteristiklerin maksimum ve minimum değerleri dikkate alınarak Matlab üzerinde bir program geliştirilmiş ve bu program sayesinde sinyal üzerindeki tedirginlikler tespit edilerek, tespit edilen olayların fotoları ayrı bir klasörde toplanmıştır. Bu program tarafından tespit edilen olayın fotoğrafları şekil 4.4. ve 4.5.'de verilmiştir:



Şekil 4.4. ICV verici istasyonuna ait 06.03.01 tarihli, saat 13.00'da alınan VLF sinyal tedirginliği.



Şekil 4.5. HWU verici istasyonuna ait 06.05.12 tarihli, saat 13.00'da alınan VLF sinyal tedirginliği.

İnceleme yapılan dönem için program test edilmiş ve elde edilen sonuçlar manuel (gözle) olarak yapılan gözlem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 4.3.'de verilmiştir. Hata hesapları denklem 4.1'e göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. Her iki istasyon için Saptanan Olay Sayısı, Autodetect ve Manuel Arasındaki Hata Hesabı Sonuçları.

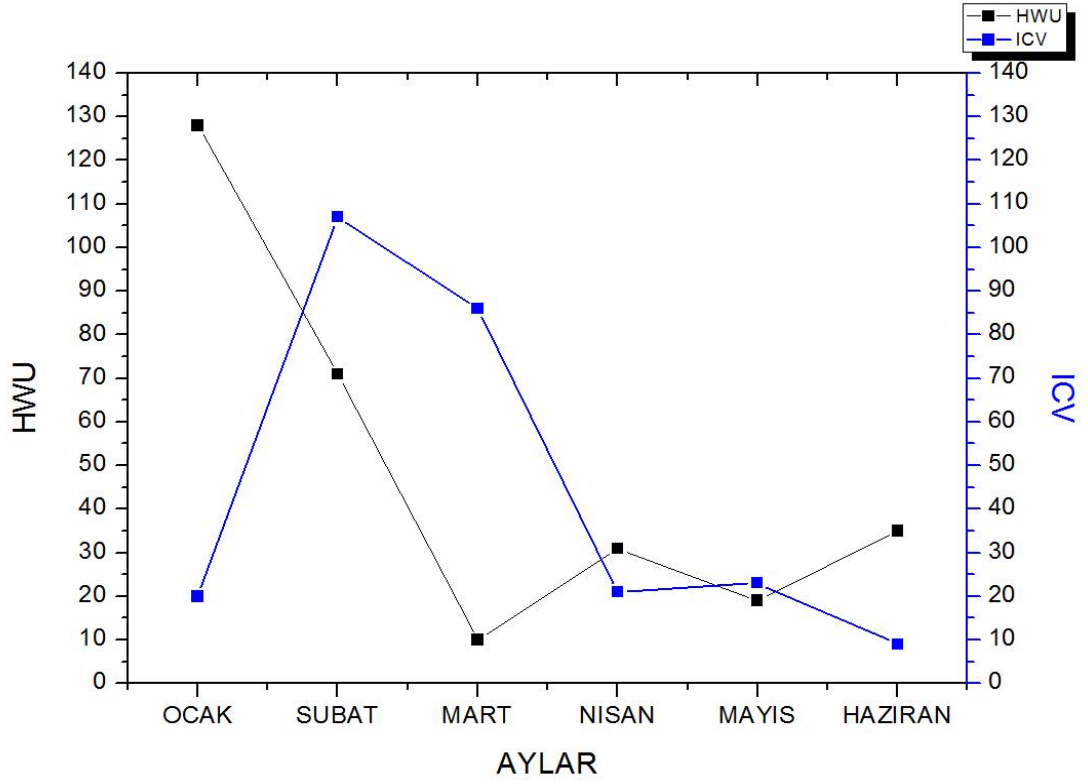
AYLAR	AUTODETECT		MANUEL		% HATA		
	HWU	ICV	HWU	ICV	HWU	ICV	TOPLAM
OCAK	132	28	128	20	3.1	40	21.55
ŞUBAT	110	78	71	107	54	27	40.5
MART	17	74	10	86	17	13	15
NİSAN	45	35	31	21	45	66	55.5
MAYIS	30	37	19	23	57	60	58.5
HAZİRAN	37	15	35	9	5.7	66	35.85

$$\text{HATA HESABI: } \left| \frac{\text{TEORİK DEĞER} - \text{DENEYSEL DEĞER}}{\text{TEORİK DEĞER}} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

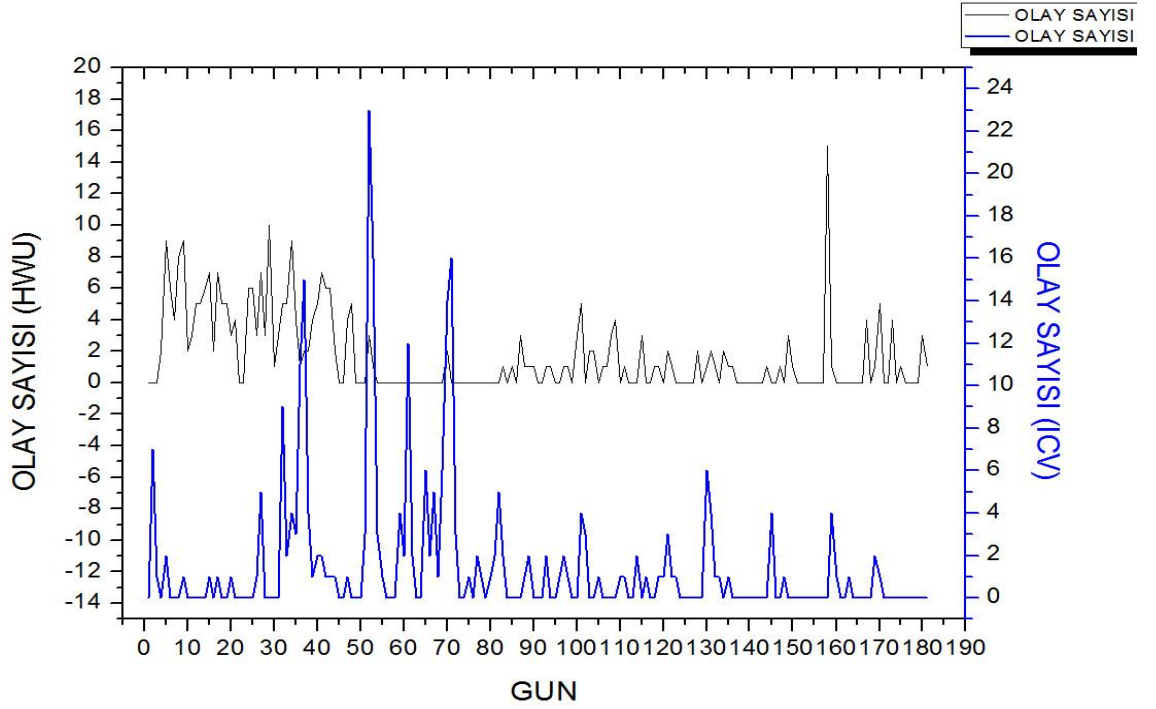
HWU istasyonu için ortalama hata %30.3 ve ICV istasyonu için ortalama hata %45.33 olarak bulunmuştur. Programın her iki sinyaldeki ortalama hatası ise yaklaşık %37.33 olarak hesaplanmıştır.

4.2. VLF Sinyal Tedirginliklerinin Aylık, Günlük ve Saatlik Değişimleri

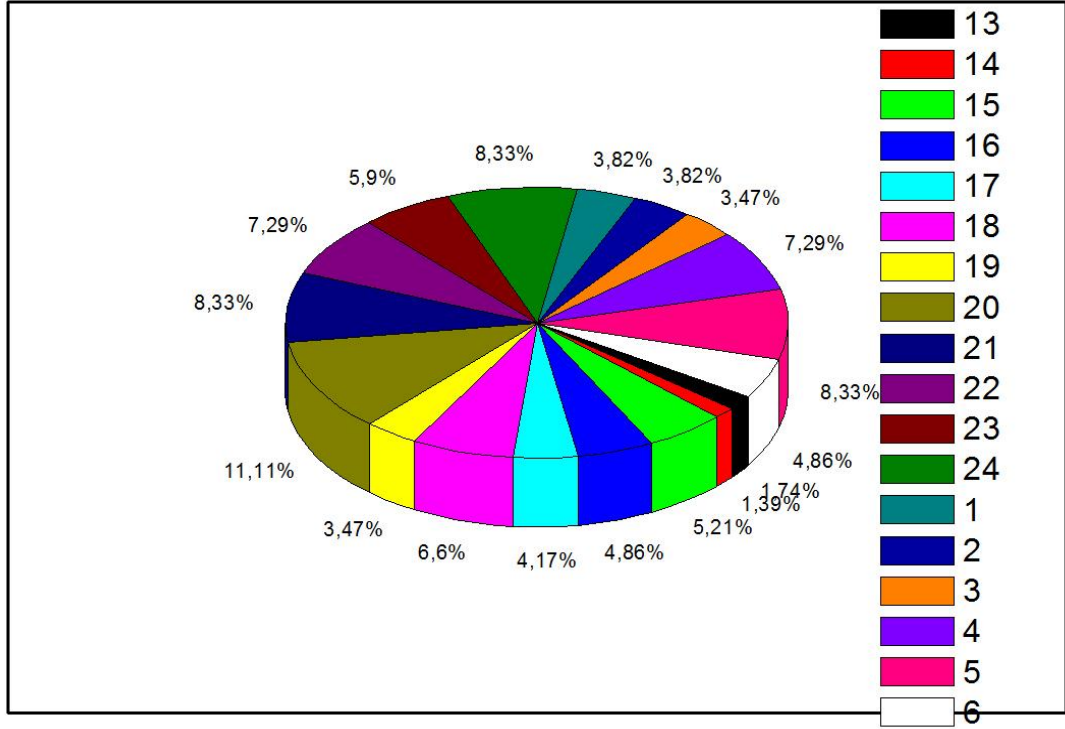
Bu kısımda her iki istasyon için VLF sinyallerinde tespit edilen tedirginliklerin; aylık, günlük ve saatsel değişimleri sırasıyla Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.



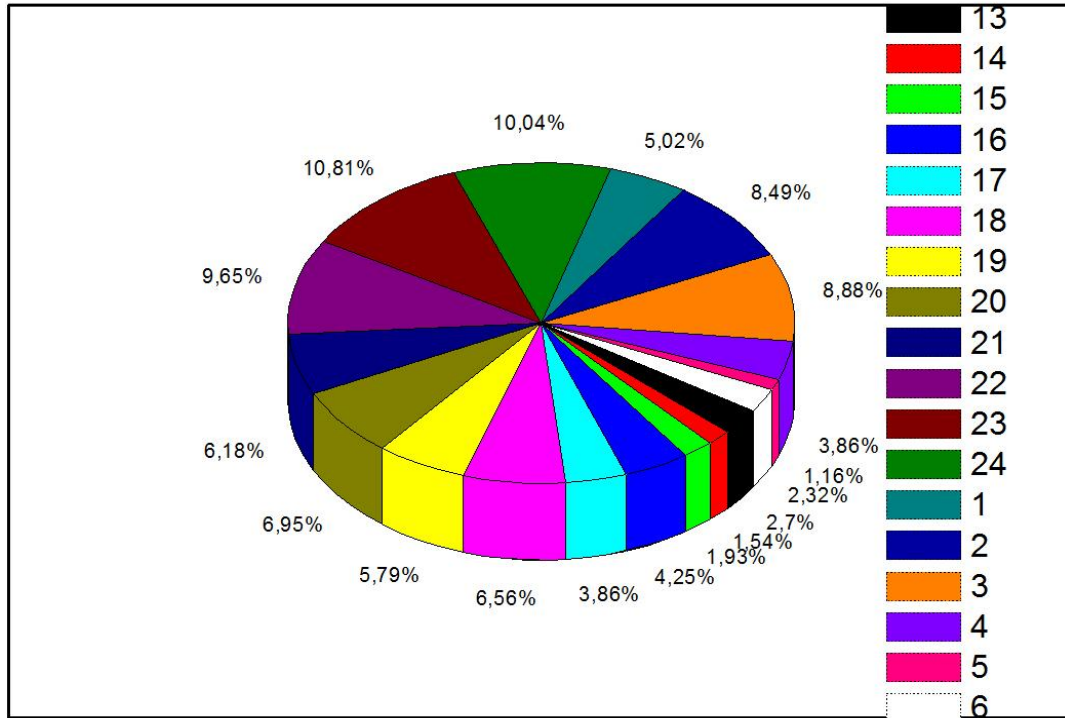
Şekil 4.6. HWU ve ICV verici istasyonlarına ait 2006 yılı ilk altı aylık olay sayısı değişimleri.



Şekil 4.7. HWU ve ICV verici istasyonlarına ait 2006 yılı ilk altı ayına ait günlük olay sayısı değişimleri.



Şekil 4.8. HWU verici istasyonuna ait 2006 yılı ilk altı ayına ait saatsel bazda olay sayısı dağılımları.



Şekil 4.9. ICV verici istasyonuna ait 2006 yılı ilk altı ayına ait saatsel bazda olay sayısı dağılımları.

Aylık ve günlük bazda olayların sınıflandırılması sonucu oluşturulan ilk iki grafikten anlaşılacağı üzere, her bir verici istasyondan alınan sinyaller üzerindeki olay sayısının farklı olduğu gözlemlenmiştir.

İki verici istasyondan alınan sinyallerdeki tedirginliklerin saatsel bazda sınıflandırılmalarıyla çizilen 3 ve 4. grafiklere bakıldığında da, saat 13 ile 21 arasında iki verici istasyondan alınan sinyal tedirginliklerindeki artış ve azalışlar arasında doğru yönlü pozitif bir ilişki olduğu ancak saat 21 ile 06 arasında böyle bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir.

Bu iki verici istasyondan alınan sinyallerde tespit edilen olaylar arasında bir ilişkinin olup olmadığını daha iyi anlamak için aylık, günlük ve saatsel bazda korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Korelasyon katsayısı,

- a) İki değişken arasındaki ilişkinin sadece doğrusal derecesini ölçen bir sayıdır. İki seri arasında doğrusal bir ilişki varsa, ilişkinin derecesi hakkında gerçek bir fikir veremez.
- b) Korelasyon katsayısı değişkenlerden hangisinin sebep (bağımsız) hangisinin sonuç (bağımlı) olduğunu belirtmez.
- c) Korelasyon katsayısı ölçme birimlerinden etkilenmez.

Herhangi bir x ile y değeri arasında hesaplanan bir ρ değeri, eğer;

$\rho < 0$ ise, negatif (ters yönlü) ilişki,

$\rho > 0$ ise, pozitif (doğru yönlü) ilişki,

$\rho = -1$ ise, ters yönlü tam ilişki,

$\rho = 0$ ise, ilişki yok,

$\rho = +1$ ise, doğru yönlü tam ilişki,

$\rho < -0,5$ ise, ters yönlü kuvvetli ilişki,

$\rho > -0,5$ ise, ters yönlü zayıf ilişki,

$\rho > 0,5$ ise, doğru yönlü kuvvetli ilişki,

$\rho < 0,5$ ise, doğru yönlü zayıf ilişki

söz konusudur [62].

Aşağıdaki tabloda her iki sinyalde oluşan olaylar arasında aylık, günlük ve saatsel bazda hesaplanan korelasyon katsayısı değerleri verilmiştir:

Tablo 4.4. Korelasyon sabiti değerleri.

KORELASYON SABİTİ (ρ)		
AYLIK	GÜNLÜK	SAATSEL
-0,06773	0,015379	0,237474

Bu korelasyon katsayıları incelendiğinde, istasyonlar arasında aylık bazda olay sayısı oluşumlarında ters yönlü zayıf bir ilişki, günlük bazda doğru yönlü zayıf bir ilişki, yine saatlik bazda doğru yönlü zayıf bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Vlf Sinyal Tedirginlikleri ile Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişkinin İncelenmesinde SPSS Analizi

2006 yılının Ocak – Şubat – Mart – Nisan – Mayıs – Haziran aylarına ait günlük ortalama Kp ve DST indeksi değerleri Tablo 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Bu indeks değerleri, ‘World Data Center for Geomagnetism, Kyoto’ adlı Japonya merkezli jeomanyetik data servisinden ham değerleri alınmış ve gerekli hesaplamalar yapılarak tablo 4.5. ve 4.6 oluşturulmuştur.

Tablo 4.5. 2006 yılı ilk altı ayına ait Kp indeksi değerleri.

Gün	Ortalama Kp					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	0,542	0,28	0,61	0,06	0,10	0,76
2	0,555	0,36	0,21	0,08	0,28	0,53
3	0,278	0,39	0,21	0,10	0,24	0,32
4	0,153	0,43	0,21	0,60	0,83	0,13
5	0,292	0,26	0,08	1,32	0,65	0,19
6	0,611	0,92	0,68	0,61	1,01	1,21
7	0,486	0,35	0,71	0,18	1,03	1,17
8	0,292	0,26	0,39	0,33	0,44	1,11
9	0,042	0,19	0,24	1,60	0,25	0,72
10	0,097	0,26	0,90	0,96	0,22	0,65
11	0,195	0,54	0,74	0,40	1,07	0,46
12	0,278	0,42	0,35	0,06	0,92	0,26
13	0,236	0,18	0,19	0,86	0,74	0,18
14	0,264	0,07	0,18	1,78	0,51	0,50
15	0,458	0,72	0,64	1,40	0,26	1,18
16	0,861	0,69	0,63	0,78	0,11	0,67
17	0,695	0,14	0,21	0,43	0,42	0,68
18	0,778	0,19	1,19	0,50	0,88	0,44
19	0,680	0,57	1,46	0,19	0,54	0,18
20	0,597	1,08	1,11	0,38	0,49	0,24
21	0,361	1,11	0,90	0,54	0,50	0,15
22	0,445	0,97	0,71	0,99	0,64	0,43
23	1,000	0,38	0,31	0,53	0,38	0,14
24	0,514	0,47	0,35	0,47	0,28	0,21
25	0,542	0,14	0,50	0,29	0,28	0,33
26	1,320	0,50	0,54	0,24	0,26	0,10
27	0,833	0,32	0,64	0,35	0,14	0,40
28	0,542	0,14	0,46	0,69	0,43	0,96
29	0,153		0,42	0,15	0,19	0,82
30	0,111		0,29	0,00	0,60	0,65
31	0,125		0,39		0,42	

Tablo4.6. 2006 yılı ilk altı ayına ait Dst indeksi değerleri.

Gün	Ortalama DST					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	3,00	0,04	-4,08	-0,79	1,67	1,42
2	0,17	-5,75	-0,46	8,08	5,79	-2,67
3	-3,38	-3,50	0,21	10,29	10,54	-2,58
4	-2,50	-6,38	1,46	-2,46	-12,08	3,96
5	1,67	5,29	2,83	-54,04	-22,42	8,92
6	-11,42	-12,92	4,54	-34,21	-13,54	-8,29
7	-6,04	-9,42	-26,67	-19,08	-28,33	-22,25
8	-8,54	-0,46	-5,75	-8,63	-16,17	-23,58
9	-2,54	5,04	0,67	-40,42	-9,21	-19,46
10	2,79	8,50	1,54	-37,63	3,08	-16,79
11	4,33	2,46	-14,54	-23,54	-15,42	-11,54
12	5,46	-3,71	-8,21	-14,42	-20,04	-10,17
13	3,00	-1,96	-3,33	-1,79	-12,29	-4,79
14	5,54	5,75	3,58	-62,42	-10,88	-1,00
15	3,83	4,46	7,58	-287,25	-9,42	-12,67
16	-2,54	-5,04	-1,54	-38,13	-5,71	-20,33
17	-6,46	-7,25	0,79	-25,13	-0,58	-14,75
18	-5,50	2,17	-12,83	-27,83	-6,17	-15,92
19	-4,88	-0,96	-33,29	-17,42	-13,67	-11,29
20	-2,25	-18,67	-28,63	-8,50	-9,29	-5,96
21	-4,58	-18,50	-24,08	-2,29	-7,33	1,13
22	0,46	-19,13	-21,92	-28,13	-6,42	4,29
23	-8,42	-13,25	-16,13	-18,46	-6,50	2,63
24	-5,92	-11,08	-7,21	-15,92	4,08	6,92
25	-1,00	-4,21	-10,46	-11,92	4,33	-2,71
26	-24,38	-7,21	-5,13	-7,79	-0,17	4,08
27	-17,71	-5,88	-13,13	-5,42	0,67	12,96
28	-13,75	-4,29	-9,63	-10,38	-1,50	-5,83
29	-8,79		-5,54	-7,50	-6,92	-8,46
30	-5,33		-4,96	-3,29	7,04	-11,88
31	2,79		-4,17		0,71	

Bu kısımda VLF sinyallerinde oluşan tedirginlikler ile jeomanyetik indeksler arasındaki ilişkiyi incelemede SPSS programı kullanılarak regresyon analiz yöntemi oluşturulan data setleri üzerine günlük ve saatsel olarak uygulandı. Yapılan analiz yöntemi ışığında ortaya çıkan sonuçlar aşağıda tablo 4.7 ve 4.8’de ortaya konmuştur.

Regresyon analizi, değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına imkân veren bir analiz yöntemidir. Örneğin “yemek yeme” ile “kilo alma” arasındaki ilişki regresyon analizi ile ölçülebilir. Korelasyon analizinde ise iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve gücünü belirler. Fakat bu ilişki bir neden-sonuç ilişkisi olmak zorunda değildir. Örneğin, horozların sabah ötmeleriyle, güneşin doğması arasında kusursuz doğrusal pozitif korelasyon ilişkisi vardır. Ancak bu ilişki güneşi horozların doğmasını sağladığını göstermez.

Tablo 4.7. Günlük bazda ortalama dst ve kp indeksi ile olay sayısı arasında regresyon analizi.

AYLAR	HWU						ICV					
	GÜN. ORTALAMA DST			GÜN.ORTALAMA Kp			GÜN. ORTALAMA DST			GÜN.ORTALAMA Kp		
	B	F	P	B	F	P	B	F	P	B	F	P
OCAK	0,048	0,376	0,545	-0,068	0,830	0,370	0,031	0,545	0,466	0,044	1,249	0,273
ŞUBAT	-0,087	1,688	0,205	-0,042	0,323	0,574	0,373	8,149	0,008	0,478	13,330	0,001
MART	0,002	0,039	0,845	-0,006	0,132	0,719	-0,006	0,007	0,936	-0,024	0,061	0,807
NİSAN	-0,002	0,199	0,659	-0,002	0,007	0,933	0	0,001	0,970	-0,032	3,895	0,058
MAYIS	-0,001	0,006	0,938	-0,028	1,526	0,227	-0,39	1,775	0,193	-0,023	0,321	0,576
HAZİRAN	-0,113	4,417	0,045	0,112	3,041	0,092	0,041	8,091	0,008	0,021	1,309	0,262

Tablo 4.8. Saatlik bazda ortalama dst ve kp indeksi ile olay sayısı arasında regresyon analizi.

AYLAR	HWU						ICV					
	SAAT. ORTALAMA DST			SAAT. ORTALAMA Kp			SAAT. ORTALAMA DST			SAAT. ORTALAMA Kp		
	B	F	P	B	F	P	B	F	P	B	F	P
OCAK	-0,322	0,647	0,43	38,199	4,723	0,041	- 0,147	1,757	0,199	21,359	12,691	0,002
ŞUBAT	-0,459	0,523	0,477	18,974	1,531	0,229	-1,690	2,709	0,114	77,179	13,154	0,001
MART	0,058	0,501	0,486	4,612	3,782	0,065	1,216	10,736	0,003	33,438	7,841	0,01
NİSAN	0,187	2,196	0,153	-4,924	0,936	0,344	-0,029	0,118	0,735	-1,574	0,222	0,642
MAYIS	0,035	0,496	0,489	8,072	1,981	0,173	0,016	0,076	0,785	14,111	4,913	0,037
HAZİRAN	1,316	14,305	0,001	29,364	1,721	0,203	0,251	6,878	0,016	7,074	1,649	0,212

Verilen bu tablolarda:

B: Beta katsayısı.

F: Regresyon analizinde kullanılan anova (variance of analysis) katsayısıdır.

P: Değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını gösterir.

($P < 0.05$ olduğunda ilişkinin anlamlı olduğunu söyler).

Tablo 4.7’de aylık dağılımlara göre günlük bazda yapılan regresyon analizi sonucunda, Hwu istasyonuna ait günlük vlf sinyal tedirginlikleri ile günlük ortalama dst indeksi arasındaki ilişki yalnızca Haziran ayında($P = 0,045 < 0,05$ olduğu için) anlamlı bulunmuş, ancak günlük ortalama kp indeksi ile arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Bu sonuçlara göre haziran ayındaki günlük ortalama olay sayısının haziran ayındaki günlük dst indeksine bağlı olarak artış veya azalış gösterdiği gözlemlenmiş, buradan hareketle Haziran ayı günlük ortalama dst indeksinde ki bir birimlik değişimin Haziran ayı günlük ortalama olay sayısını $B = -0.113$ birim değiştirdiği belirlenmiştir

Yine tablo 4.7’de, Icv istasyonuna ait vlf sinyal tedirginlikleri ile günlük ortalama dst indeksi arasındaki ilişki, Şubat ve Mart aylarında (P şubat = 0,008, P haziran = 0,008)

anlamli bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, Şubat ayı günlük ortalama dst indeksinde ki bir birimlik değişimin olay sayısını 0,373 birim ve Haziran ayı günlük ortalama dst indeksinde ki değişimin de olay sayısını 0,041 birim arttırdığı bulunmuştur.

Icv istasyonuna ait vlf sinyal tedirginlikleri ile günlük ortalama kp indeksi arasındaki ilişki, Şubat ayında anlamlı ($P_{\text{şubat}} = 0,001$) bulunmuştur. Bu sonuca göre, Şubat ayı günlük ortalama kp indeksinde ki bir birimlik değişimin, aynı ayın günlük olay sayısını 0,478 birim arttırdığı ortaya konmuştur.

Tablo 4.8’de, aylık dağılımlara göre saatsel bazda yapılan regresyon analizi sonucunda, Hwu istasyonuna ait saatsel vlf sinyal tedirginlikleri ile saatsel ortalama dst indeksi arasındaki ilişki Haziran ayında, yine aynı istasyona ait saatsel olay sayısı ile saatsel kp indeksi arasındaki ilişki, Ocak ayında bulunmuştur. Bu sonuçlardan hareketle, Haziran ayı saatsel ortalama dst indeksindeki bir birimlik değişimin Hwu istasyonu Haziran ayına ait saatsel olay sayısını 1,316 birim arttırdığı ve Ocak ayı saatsel ortalama kp indeksindeki bir birimlik değişimin aynı istasyonun saatsel olay sayısını 38,199 birim arttırdığı gözlemlenmiştir.

Yine tablo 4.8’de, Icv istasyonuna ait saatsel vlf sinyal tedirginlikleri ile saatsel ortalama dst indeksi arasındaki ilişki Mart ve haziran aylarında, aynı istasyona ait saatsel olay sayısı ile saatsel ortalama kp indeksi arasında Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, Mart ayı saatsel ortalama dst indeksindeki bir birimlik değişim, aynı ayın olay sayısını 1,216 birim ve Haziran ayı saatsel ortalama dst indeksindeki bir birimlik değişimde aynı ayın olay sayısını 0,251 birim arttırmaktadır.

Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarındaki saatsel ortalama kp indeksindeki bir birimlik değişimin aynı ayların olay sayılarını sırasıyla, 21.359, 77.179, 33.438 ve 14.111 birim arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.9 ve 4.10 da da Korelasyon katsayıları ve hesaplanan regresyon denklemleri verilmiştir:

Tablo 4.9. Günlük bazda ortalama dst ve kp indeksi ile olay sayısı arasında korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi.

AYLAR	HWU				ICV			
	GÜN.ORTALAMA DST		GÜN.ORTALAMA Kp		GÜN.ORTALAMA DST		GÜN.ORTALAMA Kp	
	R	Y	R	Y	R	Y	R	Y
OCAK	0,113	4,052+0,048X	0,167	4,983-0,068X	0,136	0,527+0,031X	0,203	0,157+0,044x
ŞUBAT	0,247	2,929-0,087X	0,111	2,983-0,042X	0,488	2,146+0,373X	0,582	-1,241+0,478x
MART	0,037	0,304+0,002X	0,067	0,399-0,006X	0,015	2,820-0,006X	0,046	3,082-0,024x
NİSAN	0,084	1,091-0,002X	0,016	1,059-0,002X	0,007	0,704-0X	0,349	1,127-0,032x
MAYIS	0,014	0,621-0,001X	0,224	0,935-0,028X	0,24	0,988-0,039X	0,105	1,007-0,023x
HAZİRAN	0,369	0,464-0,113X	0,313	-0,248+0,112X	0,473	0,045+0,041X	0,211	0,03-0,021x

Tablo 4.10. Saatlik bazda ortalama dst ve kp indeksi ile olay sayısı arasında korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi.

AYLAR	HWU				ICV			
	SAAT.ORTALAMA DST		SAAT.ORTALAMA Kp		SAAT.ORTALAMA DST		SAAT.ORTALAMA Kp	
	R	Y	R	Y	R	Y	R	Y
OCAK	0,169	6,295-0,322X	0,42	-12,303+38,199X	0,272	1,296-0,147X	0,605	-8,912+21,359X
ŞUBAT	0,152	4,952-0,459X	0,255	-5,669+18,974X	0,331	11,874-1,690X	0,612	-30,549+77,14X
MART	0,149	-0,033+0,058X	0,383	-2,028+4,612X	0,573	-5,803+1,216X	0,513	-14,18+33,438X
NİSAN	0,301	-2,173+0,187X	0,202	4,055-4,924X	0,073	1,417-0,029X	0,1	1,758-1,574X
MAYIS	0,148	0,647+0,035X	0,287	-3,143+8,072X	0,059	0,891+0,016X	0,427	-5,921+14,111X
HAZİRAN	0,628	-6,722+1,346X	0,269	-13,994+29,364X	0,488	-1,188+0,251X	0,264	-3,348+7,074X

R: Korelasyon katsayısı. Bu katsayının karesi, bağımsız değişkenin bağımlı değişken

Üzerinde ki yüzdelerlik (%) etkisini gösteren değerdir.

Y: Regresyon denklemdir.

Yukarıda verilen tablolardan 4.9'da, Hwu istasyonuna ait Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ait günlük olay sayısı değişimi ile aynı aylara ait günlük ortalama dst indeksi arasındaki korelasyon değerleri arasında doğru yönlü ($0 < R < 0,5$ olduğu için) zayıf bir ilişki, yine bu istasyona ait altı aylık olay sayısı ile aynı aylara ait günlük ortalama kp indeksi arasında da doğru yönlü zayıf bir ilişki bulunmuştur.

Aynı tabloda Icv istasyonuna ait ilk altı ay için günlük olay sayısı değişimi ile günlük ortalama dst indeksi arasında doğru yönlü zayıf bir ilişki, yine aynı istasyona ait günlük olay sayısı değişimi ile günlük ortalama kp indeksi arasında Şubat ayında doğru yönlü ($R > 0,5$ olduğu için) kuvvetli ilişki, diğer aylarda doğru yönlü zayıf ilişki tespit edilmiştir.

Tablo 4.10'da, Hwu istasyonuna ait ilk beş ay için saatlik olay sayısı değişimi ile saatsel ortalama dst indeksi arasında; Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında doğru yönlü zayıf ilişki, Haziran ayında doğru yönlü kuvvetli ilişki bulunmuş, yine aynı istasyona ait saatlik olay sayısı değişimi ile saatsel ortalama kp indeksi arasında doğru yönlü zayıf ilişki tespit edilmiştir.

Aynı tabloda Icv istasyonuna ait saatlik olay sayısı değişimi ile saatsel ortalama dst indeksi arasında, Mart ve Mayıs aylarında doğru yönlü kuvvetli ilişki diğer aylarda doğru yönlü zayıf ilişki bulunmuş, yine aynı istasyona ait saatlik olay sayısı değişimi ile saatsel ortalama kp indeksi arasında, Ocak, Şubat ve Mart aylarında doğru yönlü kuvvetli bir ilişki, diğer aylarda doğru yönlü zayıf ilişki bulunmuştur.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, HWU ve ICV kodlu istasyonlardan alınan 2006 yılının ilk altı ayına ait VLF sinyallerinde meydana gelen tedirginlikler incelenmiştir. Bu altı aylık dönemde toplam 160 gün ve ortalama 2520 saatlik sinyal, hem manuel hem de autodetect vasıtasıyla incelenmiştir.

Birinci kısımda çok zaman alan bu gözle incelemeyi otomatik hale getirmek için Matlab ortamında bir program geliştirildi ve bu program sayesinde sinyal üzerinde oluşan tedirginlikler otomatik olarak tespit edildi. Programın HWU sinyali için %30.3 ve ICV istasyonu içinde %45.33'lük hata ile çalıştığı tespit edildi.

İkinci kısımda veri madenciliği yöntemleri kullanılarak her iki istasyon için elde edilen sinyal tedirginlikleri; aylık, günlük ve saatsel olarak sınıflandırıldı. Her iki istasyondan alınan sinyaller üzerinde oluşan tedirginlikler arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek için korelasyon yöntemi; aylık, günlük ve saatsel bazda uygulanarak ayrı ayrı korelasyon sabitleri hesaplandı. İstasyonlar arasında; aylık bazda ters yönlü kuvvetli, günlük ve saatlik bazda doğru yönlü zayıf bir ilişkinin olduğu tespit edildi.

Üçüncü kısımda, VLF sinyal tedirginlikleri ile jeomanyetik indeksler arasındaki ilişkinin tespit edilmesinde, daha çok sosyal bilimlerde kullanılan SPSS programından faydalanılarak regresyon analiz yöntemi ile incelenmiştir. Kp ve Dst indeksleri internet ortamında jeomanyetik data servisinden elde edilerek günlük ve saatsel olarak sınıflandırıldı.

HWU istasyonu için, aylık dağılımlara göre günlük bazda Kp indeksi ile anlamlı bir ilişki bulunmamış ancak saatsel bazda Ocak ayı için Kp indeksindeki bir birimlik değişimin olay sayısını 38 birim arttırdığı tespit edilmiştir.

Aynı istasyon için Haziran ayı günlük aralıkta, Dst indeksindeki bir birimlik değişimin olay sayısını 0.113 birim azalttığı ve saatsel aralıkta da 1.316 birim arttırdığı gözlemlenmiştir.

ICV istasyonu için, aylık dağılımlara göre günlük bazda Kp indeksindeki bir birimlik değişimin, Şubat ayı günlük olay sayısını 0,478 birim arttırdığı, saatsel bazda ise Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs ayları için sırasıyla; 21.359, 77.179, 33.438 ve 14.111 birimlik artışlara neden olduğu tespit edilmiştir.

Aynı istasyon için, aylık dağılımlara göre günlük bazda Dst indeksindeki bir birimlik değişiminin, Şubat ve Haziran ayları olay sayılarında sırasıyla; 0.373 birim ve 0.041 birimlik artışlara, saatsel bazda ise yine Dst indeksindeki bir birimlik değişiminin Mart ayı olay sayısında 1.216 birim ve Haziran ayı olay sayısında 0.251 birimlik artışlara sebep olduğu tespit edilmiştir.

Regresyon analizi ile yapılan etkileşim incelemeleri sonucunda tespit edilen korelasyon katsayı değerlerine dayanarak; HWU istasyonu için bu altı aylık dönemde günlük ve saatsel bazda olay sayısı oluşumu ile hem Dst hem de Kp indeksleri arasında doğru yönlü zayıf bir ilişki olduğu bulunmuştur.

ICV istasyonu için günlük ve saatlik bazda olay sayısı oluşumu ile, Dst indeksi arasında hemen hemen bütün aylarda doğru yönlü zayıf bir ilişki, Kp indeksi ile de günlük bazda Şubat ayı hariç, saatsel bazda ise Ocak, Şubat ve Mart ayları hariç doğru yönlü zayıf bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Bütün bu çalışmalar ve analizler sonucunda ortaya çıkan diğer bir sonuç ise değişkenler arasında bir ilişkinin incelenmesinde gruplandırmalar ne kadar özele indirgenirse tespit edilen sonuçlara yorum yapma kabiliyetinin o derece belirginleşmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Belrose, J.S.**, 1995, "Fessenden and Marconi: Their differing technologies and transatlantic experiments during the first decade of this century" 100 Years of Radio, Conference Publication 411, IEE, 32–43.
- [2] **Barclay, L.W.**, 1995, "Radiowave propagation: The basis of radiocommunication" 100 Years of Radio, Conference Publication 411, IEE, 89–94.
- [3] **Rodriguez, J.V.**, 1994, "Modification of the Earth's ionosphere by Very-Low-Frequency transmitters" Phd Thesis, Stanford University, Stanford.
- [4] **Appleton, E.V.**, 1927, "The existence of more than one ionised layer in the upper atmosphere" Nature, Vol:120, No:3018, 330.
- [5] **Appleton, E.V.**, 1930, "On some measurements of the equivalent height of the atmospheric ionised layer" Proc. R. Soc. Lond. A., Vol:126, 542-569.
- [6] **Hulburt, E.O.**, 1932, "Ionisation in the upper ionosphere" Nature, Vol:120, No:3014, 187.
- [7] **Eckersley, T.L.**, 1925, "The propagation of radio waves over the Earth" Nature, Vol:115, No:2892, 496-497.
- [8] **Ratcliffe, J.A., Farmer, F.T.**, 1935, "A new test of the magneto-ionic theory" Nature, 831-832.
- [9] **Watt, A.D.**, 1967, "VLF radio engineering" Pergamon Press, Oxford.
- [10] **Swanson, E.R.**, 1983, "Omega" Proceedings of the IEEE, Vol: 71, No:10, 1140-1155.
- [11] **Budden, K.G.**, 1961, "The wave-guide theory of wave propagation" Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [12] **Wait, J.R.**, 1962, "Electromagnetic waves in stratified media" Pergamon Press, New York.
- [13] **Galejs, J.**, 1972, "Terrestrial propagation of long electromagnetic waves" Pergamon Press, Oxford.
- [14] **Ferguson, J.A.**, 1989, "Long wave propagation model" Military Communications Conference, 593-597, Boston.

- [15] **Rasmussen, J.E., Kossey, P.A., Lewis, E.A.**, 1980, "Evidence of an ionospheric reflecting layer below the classical D region" *J. Geophysical Research*, Vol:85, No:A6, 3037-3044.
- [16] **Kossey, P.A., Turtle, J.P., Pagliarulo, R.P., Klemetti, W.I., Rasmussen, J.E.**, 1983, "VLF reflection properties of the normal and disturbed polar ionosphere in northern Greenland" *Radio Science*, Vol:18, 907-916.
- [17] **Özcan, O., Aydogdu, M.**, 1993, "Altitudinal variations of the conductivity of the ionospheric plasma over Turkey" *Balkan Physics Letters*, Vol:1, No:3, 65-71.
- [18] **Özcan, O., Ünal, İ., Güzel, E.**, 2003, "The integrated layer conductivities of the ionospheric E and F-region" *Balkan Physics Letters*, Vol:11, No:3, 138-145.
- [19] **Babur Y.**, 1995, "Çok düşük frekans bandında atmosferik gürültünün araştırılması" *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.*
- [20] **Cummer, S.A., Bell, T.F., Inan, U.S., Chenette, D.L.**, 1997, "VLF remote sensing of high energy auroral particle precipitation" *J. Geophys. Research*, Vol:102, No:A4, 7477-7484.
- [21] **Cummer, S.A.**, 1997, "Lightning and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospherics" *Phd Thesis, Stanford University, Stanford.*
- [22] **Inan, U.S., Pasko, V.P., Bell, T.F.**, 1996 "Sustained heating of the ionosphere above thunderstorms as evidenced by early/fast VLF events" *Geophysical Research Letters*, Vol:23, No:10, 1067-1070.
- [23] **Christian, H.J.**, 2003, "Global lightning activity" *Proceedings of the 12th International Conference on Atmospheric Electricity, 9-13 June, Versailles.*
- [24] **Cummer, S.A., Inan, U.S., Bell, T.F.**, 1998, "Ionospheric D region remote sensing using VLF radio atmospherics" *Radio Science*, Vol:33, No:6, 1781-1792.
- [25] **Inan, U.S., Bell, T.F., Rodriguez, J.V.**, 1991, "Heating and ionization of the lower ionosphere by lightning" *Geophysical Research Letters*, Vol:18, No:4, 705-708.
- [26] **Inan, U.S., Pasko, V.P., Bell, T.F.**, 1996 "Sustained heating of the ionosphere above thunderstorms as evidenced by early/fast VLF events" *Geophysical Research Letters*, Vol:23, No:10, 1067-1070.
- [27] **Pasko, V.P., Inan, U.S., Bell, T.F.**, 1996, "Sprites as luminous columns of ionization produced by quasi-electrostatic thundercloud fields" *Geophysical Research Letters*, Vol:23, No:6, 649-652.

- [28] **Pasko, V.P., Inan, U.S., Bell, T.F.**, 1998, "Ionospheric effects due to electrostatic thundercloud fields" *J.Atmospheric&Solar-Terrestrial Physics*, Vol:60, 863-870.
- [29] **Mika, A.**, 2007, "Very low frequency EM wave studies of transient luminous events in the lower ionosphere" Phd Thesis, Crete University.
- [30] **Inan, U.S., Inan, A.S.**, 1999, "Engineering Electromagnetics" Addison Wesley Longman.
- [31] **Budden, K.G.**, 1985, "The Propagation of Radio Waves" Cambridge University Press, Cambridge.
- [32] **Johnson, M.P.**, 2000, "VLF Imaging of Lightning-Induced Ionospheric Disturbances" Phd Thesis, Stanford University, Stanford.
- [33] **Barr, R., Jones, D.L., Rodger, C.J.**, 2000, "ELF and VLF radio waves" *J.Atmospheric&Solar-Terrestrial Physics*, Vol:62, 1689-1718.
- [34] **Budden, K.G.**, 1962, "The influence of the Earth's magnetic field on radio propagation by wave-guide modes" *Proc. R. Soc. Lond. A*, Vol: 265, 538-553.
- [35] **Inan, U.S., Inan, A.S.**, 2000, "Electromagnetic waves" Prentice Hall.
- [36] **Poulsen, W.L., Bell, T.F., Inan, U.S.**, 1990, "Three-dimensional modeling of subionospheric VLF propagation in the presence of localized D region perturbations associated with lightning" *J. Geophysical Research*, Vol:95, No:A3, 2355-2366.
- [37] **Danilov, A.D.**, 2000, "New ideas on the D-region modelling" *Adv. Space Science*, Vol:25, No:1, 5-14.
- [38] **Davies, K.**, 1990, "Ionospheric radio" Peter Peregrinus Ltd., London.
- [39] **Potemra, T.A., Zmuda, A.J.**, 1973, "VLF propagation disturbances and electron precipitation at Mid-latitudes" *J. Geophysical Research*, Vol:78, No:10, 1572-1580.
- [40] **Ratcliffe, J.A.**, 1972, "An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere" Cambridge University Press, Cambridge.
- [41] **Deeks, D.G.**, 1966, "D-region electron distributions in middle latitudes deduced from the reflexion of long radio waves" *Proc.R.Soc.Lond. A*, Vol: 291, 413-437.
- [42] **Kane, J.A.**, 1962, "Re-evaluation of ionospheric electron densities and collision frequencies derived from rocket measurements of refractive index and attenuation" *J.Atmospheric&Solar-Terrestrial Physics*, Vol:23, 338-347.
- [43] **Belrose, J.S., Hatton, W.L., Mckerrow, C.A., Thain, R.S.**, 1959, "The engineering of communication system for low radio frequencies" *Proceedings of IRE*, 661-680.

- [44] **Wait, J.R.**, 1964, "The relation between VLF propagation and D-layer characteristics" I.E.E. Transactions on Antennas and Propagation, 239-240.
- [45] **Inan, U.S.**, 1990, "VLF heating of the lower ionosphere" Geophysical Research Letters, Vol:17, No:6, 729-732.
- [46] **Uman, M.A.**, 1984, "Lightning" Dover Publications.
- [47] **Peter, W.B.**, 2007, "Quantitative measurement of lightning-induced electron precipitation using VLF remote sensing" Phd. Thesis, Stanford University.
- [48] **Uman, M.A.**, 1987, "The lightning discharge" International Geophysics Series, Academic Press, Orlando.
- [49] **Taranenko, Y.N., Inan, U.S., Bell, T.F.**, 1993, "Interaction with lower ionosphere of electromagnetic pulses from lightning: Excitation of optical emissions" Geophysical Research Letters, Vol:20, No:23, 2675-2678.
- [50] **Saunders, C.R.P.**, 1992, "A review of thunderstorm electrification process" J. Applied Meteorology. Vol:32, 642-655.
- [51] **Inan, U.S., Rodriguez, J.V., Idone, V.P.**, 1993, "VLF signatures of lightning-induced heating and ionization of the nighttime D region" Geophysical Research Letters, Vol:20, No:21, 2355-2358.
- [52] **Rodger, C.J., Wait, J.R., Dowden, R.L.**, 1998, "VLF scattering from red sprites-theory" J. Atmospheric & Solar-Terrestrial Physics, Vol:60, 755-763.
- [53] **Inan, U.S., Marshall, R.A.**, 2005, "High-speed telescopic imaging of sprites" Geophysical Research Letters, Vol:32, No:L05804, 1-4.
- [54] **Poulsen, W.L., Bell, T.F., Inan, U.S.**, 1993, "The scattering of VLF waves by localized ionospheric disturbances produced by lightning-induced electron precipitation" J. Geophysical Research, Vol:98, No:A9, 15553-15559.
- [55] **Chen, J., Inan, U.S., Bell, T.F.**, 1996, "VLF strip holographic imaging of lightning-associated ionospheric disturbances" Radio Science, Vol:31, No:2, 335-348.
- [56] **Burgess, W.C., Inan, U.S.**, 1993, "The role of ducted whistlers in the precipitation loss and equilibrium flux of radiation belt electrons" J. Geophysical Research, Vol:98, No:A9, 15643-15665.
- [57] **Helliwell, R.A., Katsufakis, J.P., Trimpi, M.L.**, 1973, "Whistler-induced amplitude perturbation in VLF propagation" J. Geophysical Research, Vol:78, No:22, 4679 - 4688.

- [58] **Voss, H.D., Walt, M., Imhof, W.L., Mabilia, J., Inan, U.S.**, 1998, "Satellite observations of lightning-induced electron precipitation" J. Geophysical Research, Vol:103, No:A6, 11725-11744.
- [59] **Peter, W.B., Inan, U.S.**, 2004, "On the occurrence and spatial extent of electron precipitation induced by oblique nonducted Whistler waves J. Geophysical Research, Vol:109, No:A12215, 1-17.
- [60] **Cohen M.**, 2004, "2005 VLF Receiver Documentation" STAR Laboratory VLF Group, Stanford University.
- [61] <http://www.istatistikmerkezi.com>.
- [62] **Karagöz M.**, 2006. İstatistik Yöntemleri, Ekin Kitabevi, Bursa.
- [63] **Inan, U.S., Wolf, T.G., Carpenter, D.L.**, 1988, "Geographic distribution of Lightning induced electron precipitation observed as VLF/LF perturbation events" J. Geophysical Research, Vol:93, No:A9, 9841-9853.
- [64] <http://www.swpc.noaa.gov/info/Kindex.html>.
- [65] http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/niemegk/kp_index/description.html.
- [66] http://sprg.ssl.berkeley.edu/dst_index/Dst_index.html.
- [67] <http://www oulu.fi/~spaceweb/textbook/indices.html>.
- [68] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/expdata.html>.
- [69] **Canyılmaz, M.**, 2008 'VLF Yayılımını Kullanarak Yıldırımın Alt İyonküre Üzerine Etkilerinin Araştırılması', Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet YAŞAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.02.1985 / ELAZIĞ
Adres : Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü
Telefon : 424223700 / 3592 - 3555

Öğrenim Gördüğü Okullar

İlköğretim : Gazi İlköğretim Okulu (Elazığ)
Ortaöğretim : 100. Yıl Orta Okulu (Elazığ)
Lise : Elazığ Lisesi (Elazığ)
Üniversite : Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2008 yılında mezun olduktan sonra, aynı yıl tezsiz yüksek lisansa başladı. 2009 yılında da Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Tezli Yüksek Lisansa başladıktan sonra, 2011 tarihinde Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevi yürütmektedir.