

MANYETOSFERİK ULF SİNYALLERİNİN SEZİMİ VE ÇÖZÜMLEMESİ

DETECTION AND ANALYSIS OF MAGNETOSPHERIC ULF SIGNALS

BURAK KARAGÖZOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi YAKUP ÖZKAZANÇ
Tez Danışmanı

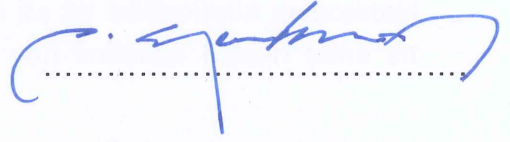
Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınavı Yönetmeliğinin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

Burak KARAGÖZOĞLU'nun hazırladığı “Manyetosferik ULF Sinyallerinin Sezimi ve Çözümlemesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ

Başkan



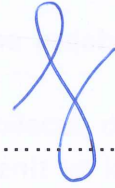
Dr. Öğr. Üyesi YAKUP ÖZKAZANÇ

Danışman



Prof. Dr. Feza ARIKAN

Üye



Doç. Dr. Cenk TOKER

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Dinçer GÖKCEN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☒ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

28. / 06. / 2018.

Burak Karayörzoğlu
(imza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Burak Karayörzoğlu

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/06/2018



Burak KARAGÖZOĞLU

ÖZET

MANYETOSFERİK ULF SİNYALLERİNİN SEZİMİ VE ÇÖZÜMLEMESİ

Burak KARAGÖZOĞLU

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi YAKUP ÖZKAZANÇ

HAZİRAN 2018, 71 sayfa

Bu tez çalışmasının temelinde, ultra düşük frekanslı sinyallerin sezimi ve çözümü bulunmaktadır. Yerküre yüzeyinde ve çevresinde bulunan bu sinyaller yerküre iç yapısı ve kabuğunun hareketleri sonucunda, deprem anında ve Güneş rüzgârlarının yerküreye etkisi sonucunda oluşmakta ve yeryüzünden tespit edilebilmektedir. Tezin amacı bu durumlar arasında olması düşünülen ilişkiyi göstermektir.

Manyetosferik ULF sinyallerinin algılanması ve kayıt edilmesi için elektronik bir yapı geliştirilmiştir. Gereken ölçümler yapılmış ve bu ölçümler kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu verilere ek olarak yurtdışında benzer ölçümler yapan kurumlardan, aynı zaman anındaki veriler araştırılmıştır. Kaydedilen ve temin edilen ULF sinyalleri özilinti yöntemleri ve güç spektrum yöntemleri ile analiz edilmiştir. ULF – Pc6 bandında tespit edilen bazı periyodik sinyallerin, yerkürenin serbest titreşim periyotları ile örtüştüğü gösterilmiştir. Bunlara ek olarak ULF bandında tespit edilen uzun periyotlu salınımların da bazı gelgit periyotları ile örtüştüğü gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda sahip oldukları benzer ilişkiler ortaya çıkarılmıştır.

Tez içerisinde belirtilen frekanstaki sinyallerin, çok düşük fiyatlı bir donanım ile yeryüzünden sinyal işleme yöntemleri sonucunda tespit edilebildiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Manyetosferik ULF Sinyalleri, Yerküre Serbest Salınım Modları, Gelgit Teorisi, Güç Spektral Yoğunluğu, Çapraz Spektral Yoğunluk

ABSTRACT

DETECTION AND ANALYSIS OF MAGNETOSPHERIC ULF SIGNALS

Burak KARAGÖZOĞLU

**Master of Science, Department of
Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. YAKUP ÖZKAZANÇ

JUNE 2018, 71 pages

The basis of this thesis is the detection and analysis of the ULF signals. The ULF signals which exist on the Earth's surface are affected by the Earth's internal structure movement, earthquake and solar wind. The purpose of the thesis is show the relationship that is thought to be have existed between these situations.

On the first stage, various electronic components are used in order to measure this signals. Some data were also taken from measurement centers located in other countries to diversify the available data. After that, a number of signal processing methods were applied on the measured and collected data. The results were transformed into graphs and charts after they are analyzed. ULF signals were detected as a result of these analyses.

It was shown that the ULF signals, whose frequencies indicated in the thesis, can be detected from the surface of the Earth by using signal processing methods with very low cost hardware.

Keywords: Magnetospheric ULF Signals, Free Oscillations of the Earth, Theory of Tides, Power Spectral Density, Cross Spectral Density

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında bilgi ve tecrübesiyle sağladığı katkılardan dolayı sayın tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi YAKUP ÖZKAZANÇ'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürler ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan Seher Gürsoy'a teşekkür ederim.

Bu tez kapsamında elde edilen verilerin bir kısmı manyetik alan ölçen gözlemvlerinde toplanan verilere dayanmaktadır. Lycksele ve Uppsala ölçüm merkezleri için Geological Survey of Sweden'a, Meanook ölçüm merkezi için Geological Survey of Canada'ya, bu verilere ve daha fazlasına kolay erişim imkanı sağlayan INTERMAGNET'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER	vi
ÇİZELGELER	viii
SÖZLÜKÇE	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Tezin Akışı	3
2. ULF SİNYALLER VE KÖKENLERİ	4
2.1 Ultra Düşük Frekanslı Sinyaller (ULF)	4
2.1.1 Kelvin-Helmholtz Kararsızlığı	8
2.2 Yerkürenin Serbest Salınımları	8
2.2.1 Küresel ve Toroidal Salınım Notasyonu	10
2.3 Gelgit Teorisi (Theory of Tides)	16
3. GELİŞTİRİLEN ALGILAYICININ DONANIMI VE YAZILIMI	24
3.1 Donanımın Amacı ve Yapısı	24
3.2 Donanım Mimarisi	24
3.2.1 Mikrokontrolcü Kartı	24
3.2.2 Hafıza Modülü	26
3.2.3 Algılayıcı Modülü	26
3.2.3.1 Manyetometre	27
3.2.3.2 İvmeölçer	27
3.3 Sistem Entegrasyonu ve Ölçüm Alınması	28
3.4 Yazılımın Hazırlanması ve İçeriği	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
4.1 Kullanılan Analiz Araçları	33
4.1.1 Özilinti	33
4.1.2 Çapraz İlinti	33
4.1.3 Özilinti ve Çapraz İlinti Fonksiyonları	33

4.1.4	Nümerik Türevleme	34
4.2	Özilinti Yöntemi ile Periyodik ULF Sinyallerinin Tespit Edilmesi.....	36
4.3	ULF Sinyallerinin Güç Spektral Yoğunlukları.....	43
4.3.1	Güç Spektral Yoğunluğu Yönteminin Uygulanışı	43
4.3.2	Güç Spektral Yoğunluğu (GSY) ve Özilinti Arasındaki İlişki.....	43
4.3.3	Tutarlılık Fonksiyonu.....	44
4.3.4	Güç Spektral Yoğunluğu ile Periyodik ULF Sinyallerinin Tespiti	45
4.3.5	Güç Spektral Yoğunluğu ile Periyodik Gelgit Sinyallerinin Tespiti	58
5.	SONUÇLAR	62
	KAYNAKLAR.....	64
	EKLER	68
	EK 1: Güç Spektral Yoğunluğu ile Özilinti ve Çapraz İlinti Fonksiyonları Arasındaki Matematiksel İlişki.....	68
	ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1: ULF Sinyallerinin Frekans-Genlik Gösterimi [8]	6
Şekil 2: Pc3 Grafikleri – Gece Ölçümü Yüksek Frekans Radarı (Üstte), Yakınlardaki bir Manyetometre Ölçümü (Ortada), Gündüz Manyetometre Ölçümü (Altta) [11] [12].....	7
Şekil 3: Küresel Mod Hareketlerinin Gösterimi	10
Şekil 4: Toroidal Mod Hareketlerinin Gösterimi	11
Şekil 5: 1970 Kolombiya Depremi Doğrusal Spektrum Grafiği [19]	12
Şekil 6: 1977 Brezilya Sumbawa Depremi Doğrusal Spektrum Grafiği [19]	13
Şekil 7: (a) St.Petersburg (b) Obninsk Şehirlerinde 1973 Kunashir Depremi Salınımı Frekans Kayıtları Grafiği [29].....	15
Şekil 8: Yerküre ve Ay'ın Güneş Çevresindeki Mesafe ve Hareket Durumu.....	17
Şekil 9: Gelgit Dalgalarının Ay'ın Konumuna Göre Durumları	18
Şekil 10: Gelgit Dalgalarının Yüksekliğinin Ay'ın Konumuna Göre Durumları [30]19	
Şekil 11: Ay ve Güneş'in Gelgit Durumuna Etkileri	20
Şekil 12: Gelgit Dalgaları Model Çeşitleri [37]	21
Şekil 13: Gelgit Dalgalarının Doğrusal ve Logaritmik Genlik Spektrum Grafikleri [39] [40]	22
Şekil 14: Gelgit Dalgalarının Frekans-Genlik Gösterimi [41].....	22
Şekil 15: Test Kurulumu Şematik Gösterimi	24
Şekil 16: Test Düzeneği	28
Şekil 17: Sistem Ekran Görüntüsü Örneği	29
Şekil 18: Ankara'da Yapılan 72 Saat Uzunluğundaki Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri	31
Şekil 19: Gözlemelerinden Alınan Manyetik Alan Ölçümleri	32
Şekil 20: Ankara Manyetik Alan Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği	37

Şekil 21: Ankara Manyetik Alan Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği Z Bileşeni	38
Şekil 22: Ankara İvme Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği X Bileşeni	39
Şekil 23: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği.....	41
Şekil 24: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği - (Manyetik Ölçüm Sonuçları)	42
Şekil 25: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği - (İvme Ölçüm Sonuçları).....	42
Şekil 26: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri GSY-1.....	46
Şekil 27: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri GSY-2.....	47
Şekil 28: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü ÇSY Grafiği XYZ Bileşenleri...	48
Şekil 29: Genlik Miktarının Grafiklere Gözlem Etkisi	49
Şekil 30: Ankara Manyetik Alan Ölçümü Y Bileşeni GSY Çalışması	49
Şekil 31: Ankara Manyetik Alan Ölçümü X Bileşeni GSY	50
Şekil 32: Gözlemevleri Kaynaklı Manyetik Alan Ölçümü Y Bileşenleri ÇSY	51
Şekil 33: Gözlemevleri Kaynaklı Manyetik Alan Ölçümü X Bileşenleri ÇSY	52
Şekil 34: Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri Güç Spektral Yoğunluğu Genel Sonuç Grafikleri.....	57
Şekil 35: Gelgit Dalgaları Frekans Aralığı Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü ÇSY Grafikleri-1	58
Şekil 36: Gelgit Dalgaları ÇSY Grafikleri-2	59
Şekil 37: Gelgit Dalga Modları Tespit Edilen Sinyallerin Gösterimi.....	59

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1: Pc1 - Pc5, Pi1 - Pi2 Sinyalleri Frekans Çizelgesi [2] [4] [5].....	5
Çizelge 2: Salınım Modlarının Frekans ve Sönümlenme Değerleri [19]	14
Çizelge 3: Deprem Anında ve Sonrasında Mod Frekans Ölçüm Değerleri [28]...	16
Çizelge 4: Gelgit Dalga Modları, Sembolleri ve Periyotları [38] [43] [44]	23
Çizelge 5: Algılayıcıların Temel Özellikleri [46] [47] [48] [49].....	26
Çizelge 6: Ankara Manyetik Alan ve İvme Özilinti Sonuçları Detaylı Görünüm Çizelgesi.....	40
Çizelge 7: Manyetik Alan ve İvme Ölçümü Güç Spektrum ve Çapraz Spektrum Genel Sonuç Çizelgesi	53
Çizelge 8: Çapraz Spektrum Üzerinden Tespit Edilen Gelgit Periyotları Çizelgesi	60

SÖZLÜKÇE

Anisotropy	Yönbağımlılık
Autocorrelation	Özilinti
Coherence	Tutarlılık
Correlation	İlinti
Cross Spectral Density	Çapraz Spektral Yoğunluk
Crosscorrelation	Çapraz İlinti
Cusp	Zirve, Dönüm noktası
Degrees Per Second	Saniyedeki Derece Sayısı
Divergence	Iraksama, Ayrılma
Eigenfrequency	Öz Frekans
Field Line Resonance	Alan Çizgisi Rezonansı
Geosynchronous	Yer Eşzamanlı
Gravitation	Yer Çekimi
Heterogeneous	Çoktürel
Impulse	Dürtü
Inelasticity	Esneksizlik
Magnetosphere	Manyetosfer
Overtone	Üst Ton
Power Spectral Density	Güç Spektral Yoğunluğu
Reset	Sıfırlamak
Theory of Tides	Gelgit Teorisi
Tidal Range	Gelgit Aralığı
Tide	Gelgit Dalgası
Ultra Low Frequency	Ultra Düşük Frekans

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_k	Başlangıç genliği
ω_k	k. modun frekansı
ϕ_k	Başlangıç faz farkı
α_k	k. modun azalma oranı
θ_k	Modun kalitesi
C	Dalga yayılma hızı
λ	Dalga boyu
f	Frekans
L	Düğüm sayısını kontrol eden harmonik derecesi
N	Üst ton indisi
S	Küresel mod
G	Evrensel çekim sabiti
r	Yarıçap
τ	Zaman gecikmesi
g	Yerküre yüzeyinde yer çekimine bağlı ivme

Kısaltmalar

CSD	Cross Spectral Density
ÇSY	Çapraz Spektral Yoğunluk
DPS	Degrees Per Second
GB	Gigabyte
GSY	Güç Spektral Yoğunluğu
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FLR	Field Line Resonance
I2C	Inter - Integrated Circuit
KB	Kilobyte
LYC	Lycksele İstasyonu
MB	Megabyte
MEA	Meanook İstasyonu
MHD	Magneto Hydro Dynamics

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NT	Nano Tesla
Pc	Pulse Continuous
Pi	Pulse Intermittent
PSD	Power Spectral Density
PWM	Pulse-Width modulation
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TTL	Transistor – Transistor Logic
ULF	Ultra Low Frequency
UPS	Uppsala İstasyonu
USART	Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus
WSS	Wide Sense Stationary

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarih boyunca çevresinde gerçekleşen doğa olaylarını incelemiş ve bunları zamanın bilgi birikimine göre anlamlandırmaya çalışmıştır. İlk zamanlar duyu organlarıyla fiziksel olarak algılayabildiği olayları açıklamaya çalışmıştır. Zamanla gelişen teknoloji ile insanoğlu sadece duyu organlarının algılayabileceği durumlarla sınırlı kalmamış, kendine yaptığı aletlerle daha önce göremediği, duyamadığı veya hissedemediği doğa olaylarını da gözlemlemeyi başarmıştır. Artan bilgi birikimi katlanarak büyümüş ve bunun sonucunda insanoğlu doğayla ilgili olarak daha fazla keşfedilecek bilgiye ulaşmayı başarmıştır. Bu durum hiçbir zaman durmayacak, her yeni bilgi bir başka bilgi ve anlayışı doğuracaktır.

Tarihin başlangıcından itibaren insanoğlu doğayı gözlemlemiştir. Bazı hayvanlar milyonlarca yıldır manyetik alanları kendilerine yararlı bir şekilde kullanagelmışlerdir. Bazıları yuvalarını yaparken manyetik alanın yönüne ve şiddetine dikkat ederek yapmıştır, bazıları ise yuvalarından uzaklaştıktan sonra geri dönüş yolunu bulmakta kullanmıştır. İnsanoğlu da bir tür olarak manyetik alanlarla hep etkileşim içindedir. Yıllardır Güneş'ten gelen zararlı ışınlar manyetik alan sayesinde engellenmektedir. Kuzeyde kutup ışıklarında manyetik alan önemli bir rol oynamaktadır. Manyetik alanın etkisi gözle görünebilmesine rağmen insanoğlu bu durumu ruhların dansı olarak açıklamıştır. Bir taşın demiri çekmesini bulduğunda ise insanoğlu durumu fark etmiştir artık. Çinliler fark etmemekle kalmamış bunu pusulaya çevirmişlerdir. Bir madde düşünün ki serbest bıraktığınızda sürekli aynı yönü gösterebilir. Dünya'nın ticaret dengesini değiştirebilecek bir icat. Bu madde nerelerde bulunuyor diye düşünersek, kendi gezegenimizde tonlarca var.

Bilindiği gibi yerküre çeşitli madenlere sahiptir ve bunlardan bazıları da manyetik özellik gösteren madenlerdir. Yerkürenin merkezi hala sıcaktır ve yeryüzüne yaklaştıkça sıcaklık düşer. Yeryüzü atmosferin etkisiyle soğumuş ve uzun yıllar sonunda yerkürenin yüzeyi katı bir hal almıştır. Yer yüzeyinin bize göre katı olmasına rağmen aslında hareketli bir yapının üzerinde durduğumuz bir gerçektir.

Yerkürenin iç yüzeyi çeşitli minerallerden oluşmaktadır. Bu minerallerin başlıcaları demir, nikel ve silisyumdur. Silisyum minerali piezoelektrik ürünlerinin temel maddesidir. Piezoelektrik etki kısaca mekanik hareket enerjisinin elektrik enerjisine

dönüşümünü ifade eder. Üzerine kuvvet uygulandığında yük akışı sağlayan bu maddeler bunun sonucunda akım üretirler. Yerkürenin iç yapısının silisyum minerallerinden oluştuğunu düşünürsek yeryüzündeki manyetik alanın bu durumdan etkilendiğini düşünmek hiç de mantıksız değildir.

Yerkürenin iç yapısından gelen etkiye ek olarak uzaydan gelen etkilerde vardır. Güneş aktif bir yıldızdır ve yüzeyinde zaman zaman hareketlenmeler olmaktadır. Bu hareketlenmelerden oluşan enerji Güneş'ten ayrılmakta ve yerküreye etki etmektedirler. Yerküre doğrultusuna da denk gelmektedir. Bu durum yerküre manyetik alan sınırına kadar gelmekte ve yerkürenin manyetik alanını etkilemektedir. Bunlara ek olarak, Ay yerkürenin çevresinde dönmekte, yerküre de Güneş'in çevresinde dönmektedir. Bu yörüngeler tam bir çember değil elips şeklindedir. Bunun sonucunda bu büyük kütleler birbirine yaklaşmakta ve uzaklaşmaktadırlar. 1600'lü yıllara baktığımızda Dünya'nın ileri gelen bilim adamları kütlelerin birbirini çektiğini düşünmüşlerdir. İlerleyen yıllarda bilgi üzerine bilgi eklenmiş ve kütle çekim kanunu ortaya çıkmıştır. Kütle çekim kanununun etkileri gözle görülebilmektedir. Gelgit olayını araştırdığımızda bunun ne kadar basit bir şekilde gözler önünde meydana geldiğini görebiliyoruz. Denizleri, okyanusları yer yer metrelerce yükselten bu kuvvet yerkürenin iç yapısındaki piezoelektrik minerallerinden oluşmuş kayalara da etki yapmaktadır. Bu tez kapsamında bu konular ele alınacak ve aralarındaki ilişki ortaya çıkarılacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında amaç ultra düşük frekanslı (ULF) manyetosferik sinyallerin sezimi ve analizidir. Bu kapsam doğrultusunda bu sinyallerin elde edilmesi için uygun donanım şartları oluşturulacak, bu donanıma uygun bir yazılım eşlik edecek ve elde edilen veri analiz edilerek yorumlanacaktır. Ultra düşük frekansın (ULF) bulunduğu koşullar ve bu koşulların ortak noktaları araştırılacak aralarındaki ilişki yorumlanacaktır.

1.2 Tezin Akışı

Bölüm 2’de teze konu olan ultra düşük frekans (ULF) sinyallerinin tarihi ve üzerine daha önce gerçekleştirilmiş bilimsel çalışmalar anlatılacaktır. Daha sonra yerkürenin serbest salınımı kısaca bilimsel çalışmalarla açıklanacak, bu konuların devamındaysa gelgit olayı, Ay’ın ve Güneş’in bu teoriye etkisi, daha önce yapılan hesaplamalı ve deneysel çalışmalar doğrultusunda açıklanacaktır. Teze konu olacak teorik bilgiler açıklandıktan sonra donanımsal ve yazılımsal olarak hazırlanan ölçüm sisteminin sahip olduğu özellikler ve çalışma prensibi kısa bir şekilde anlatılacaktır. Bir sonraki aşamadaysa, gerçekleştirilen çalışmanın anlatımı grafik ve çizelgeler yardımıyla sunulacaktır. Son bölümde, bulunan sonuçlar değerlendirilecek ve tez sonuçlandırılacaktır.

2. ULF SİNYALLER VE KÖKENLERİ

2.1 Ultra Düşük Frekanslı Sinyaller (ULF)

Ultra düşük frekanslı (ULF) sinyaller 1 mHz ile 10 Hz arasında salınım yapan sinyallerdir. ULF dalgalarının anlaşılmasında son yıllardaki uzay çalışmaları önemli bir yer tutar. Yerkürenin yüzeyinde oluşan hareketlenmeler kadar Güneş'in yüzeyinde de hareketlenmeler mevcuttur. Bunun sonucunda Güneş'ten ayrılan enerji Güneş rüzgârlarını oluşturur. Bu Güneş rüzgârları yerküreye kadar gelmekte ve yerkürenin manyetik alanı ile etkileşime girmektedir. Bu etkileşimin sonucunda çeşitli yöntemler ile gözlemlenebilen ultra düşük frekanslı manyetik dalgalar ortaya çıkmaktadır. Yerkürenin manyetik alanındaki değişimler birçok amaçla kullanılmaktadır. Güneş ile etkileşiminden oluşan değişimi, yerkürenin iletkenliğinin ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır.

W.Menk [1] ULF dalgalarının kaynaklarını ikiye ayırmıştır. Birincisi Güneş rüzgârları, ikincisi ise manyetosfer içerisindeki fiziksel olaylardır. Güneş rüzgârları dürtüleri veya düzensiz titreşimi, manyetosferin gündüz tarafını uyarır. Manyetosfere solum yapma biçiminde etki yaparlar. Aynı zamanda Güneş rüzgârları periyodik yapı da içerirler. Dalga boyu yaklaşık yerküre çapında olan manyetik dalgalar üretirler.

Ultra düşük frekanslı sinyaller Pc1, Pc2, Pc3, Pc4, Pc5, Pi1 ve Pi2 olarak kendi içerisinde frekans aralıklarına ve yapılarına göre çeşitlendirilirler [2]. Pc1-Pc5 sinyalleri sürekli yapıda titreşimler (Pc) iken Pi1, Pi2 sinyalleri düzensiz yapıda titreşimlerdir (Pi). Bu dalgalar yerküre üzerinde başka amaçla yapılan ölçümlerde farkında olunmadan gürültü olarak ölçülmektedir. Şekil 1'de bu dalgalar genliklerine ve frekanslarına göre sınıflandırılmıştır. Troitskaya ve Gul'elmi 1967 yılındaki çalışmalarında bu sinyallerin hangi frekans aralıklarında olduklarını, spektrum karakteristiklerini ve oluşum durumlarını açıklamaktadır. Çizelge 1'de bu açıklamalar gösterilmiştir. Diğer sinyallere göre Pc5 ve Pc6 sinyallerini tespit etmek, genliğinin daha büyük olmasından dolayı daha kolaydır.

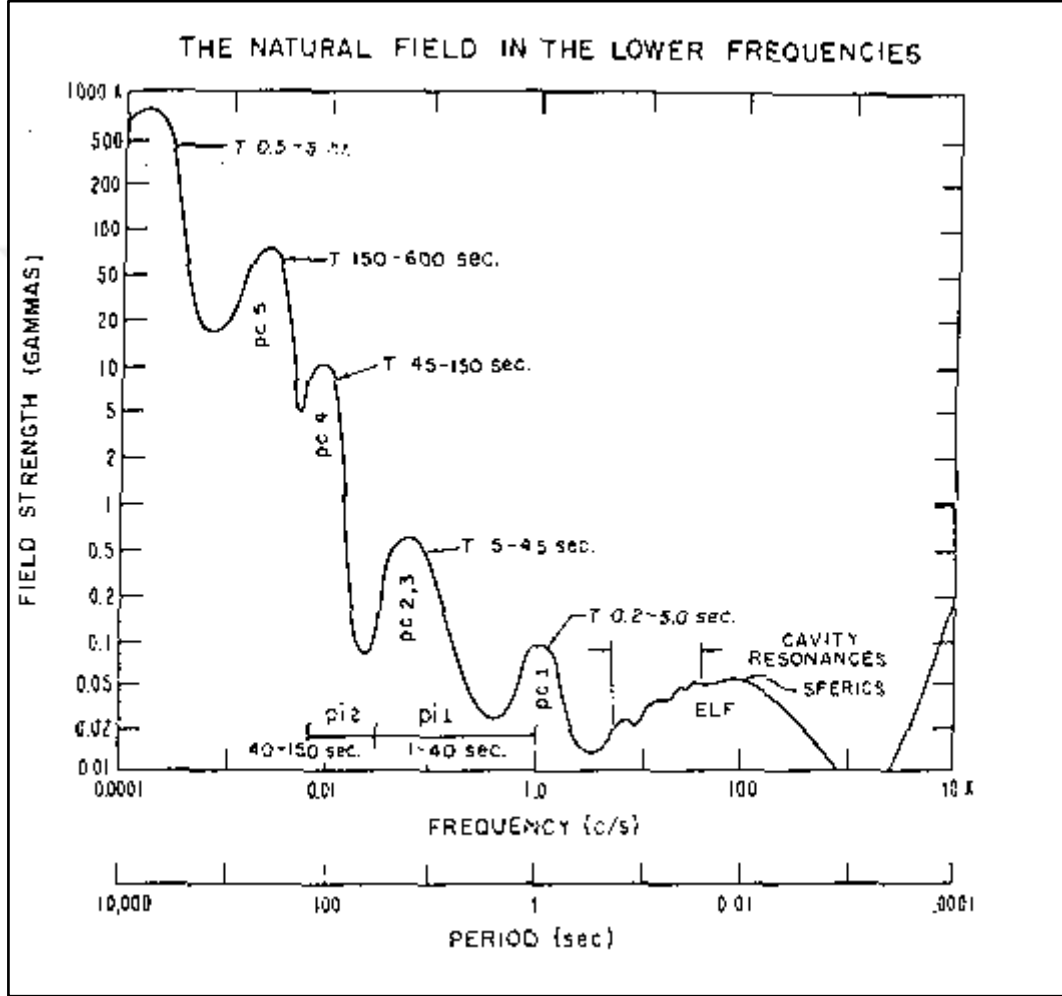
Kessel 2008'de [3] Pc5 ile Güneş rüzgârları arasındaki ilişkiyi incelemiş, %80 oranla Pc5 aktivitesinin iki hafta boyunca güneş rüzgârı basınç dalgalanmalarından etkilendiğini göstermiştir. Manyetosferde ve yerde Pc5

sıkışma dalgalarının gücü, güneş rüzgârlarındakine benzer dalgalanmaların genliği ve gücü ile doğru orantılıdır.

Çizelge 1: Pc1 - Pc5, Pi1 - Pi2 Sinyalleri Frekans Çizelgesi [2] [4] [5]

	Periyot (saniye)	Frekans (Hz)	Spektrum Karakteristiği	Oluşum
Pc1	0,2 - 5	0,2 - 5 Hz	Sonogramlarda periyodik yapıya sahip dar bant frekans aralığında sinyaller	Enerjik Protonların Siklotron Kararsızlığı
Pc2	5 - 10	0,1 - 0,2 Hz	Ortalama Periyodu Belirgin Göreceli Düzenli Titreşimler	Manyetosferin Çevresi Üzerinde Türbülanslı Titreşimler
Pc3	10 - 45	22 - 100 mHz	Ortalama Periyodu Belirgin Göreceli Düzenli Titreşimler	Manyetosferin Çevresi Üzerinde Türbülanslı Titreşimler
Pc4	45 - 150	7 - 22 mHz	Ortalama Periyodu Belirgin Göreceli Düzenli Titreşimler	Manyetosferin Çevresi Üzerinde Türbülanslı Titreşimler
Pc5	150 - 600	2 - 7 mHz	Göreceli Düzenli Titreşimler	Güneş Rüzgârının Manyetosfer ile Sabah ve Akşam Saatlerinde Etkileşimi
Pc6	> 600	< 2 mHz	Göreceli Düzenli Titreşimler	Güneş Rüzgârının Manyetosfer ile Sabah ve Akşam Saatlerinde Etkileşimi
Pi1	1 - 40	0,025 - 1 Hz	Geniş Bant Emisyonu	İyonosferde Yüklü Parçacıkların Katılımları
Pi2	40 - 150	7 - 25 mHz	Ayrı Diziler veya Salınım Dizileri Serisi	Manyetosfer Kuyruğundaki Nötr Tabakadaki Dürtüsel Süreçler
Pi3	> 150	< 7 mHz	Ayrı Diziler veya Salınım Dizileri Serisi	Manyetosfer Kuyruğundaki Nötr Tabakadaki Dürtüsel Süreçler

Benzer bir sonuca Takahaski ve Ukhorskiy 2007 [6] ile 2008 [7] yıllarında, Güneş rüzgâr basınç değişimlerinin yere eşzamanlı yörüngede Pc5 dalgalarının ana etkileyicisi olduğu düşüncesiyle vardılar. Bunun dışında son çalışmalar da Güneş rüzgârları dinamik basıncındaki periyodik değişimlerin ULF dalgalarında gözlemlendiğini göstermektedir.



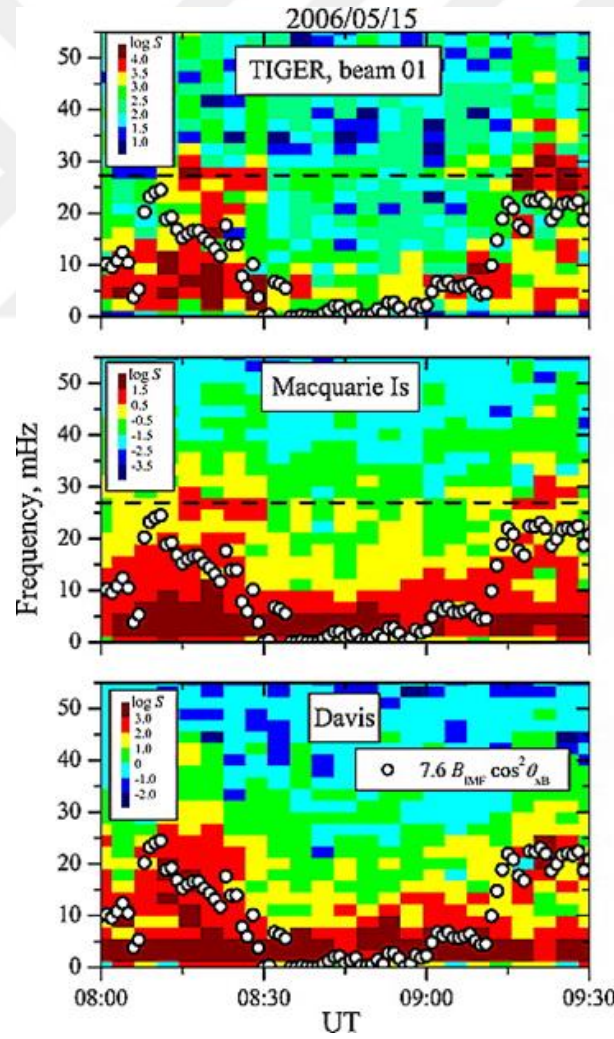
Şekil 1: ULF Sinyallerinin Frekans-Genlik Gösterimi [8]

Eriksson 2006 [9] yılında iyonkürede tespit edilen 10 Pc5 olayından 9'unun, Güneş rüzgârı dinamik basıncındaki salınımla, yüksek ilinti içerisinde bulunduğunu göstermiştir. W.Menk [1] makalesinde birçok gözlemler sonucu Pc3, Pc4 ULF dalgalarının manyetosferde ve yerde görülebildiğini gösterirken, Pc5 dalgalarının Güneş rüzgârlarındaki basınç salınımları tarafından doğrudan yönlendirilebileceğini anlatmıştır. Bir diğer araştırmacı Heilig ise 2010 yılında [10]

Güneş rüzgâr yoğunluğunun Pc3 aktivitesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

ULF dalgaları manyetosferin iç kısımlarında, basınç yönbağımlılıklarından kaynaklanan “drift mirror” kararsızlıkları ve sıkışmış enerjik iyonlarla sürüklenme, sıçrama rezonansı dahil çeşitli mekanizmalarla üretilir.

Ponomarenko 2010 yılındaki [11] makalesinde; gece ölçüm yapılan yüksek frekans radarında Şekil 2 (üstte), yakınlarındaki manyetometre ölçümünde Şekil 2 (ortada) ve gündüz (cusp) manyetometre ölçümünde Şekil 2 (altta) görülen Pc3’ün dinamik spektrumları arasındaki benzerliği yukarı akış dalgalarında ortak bir kaynak olduğunu söyleyerek ortaya koymaktadır.



Şekil 2: Pc3 Grafikleri – Gece Ölçümü Yüksek Frekans Radarı (Üstte), Yakınlardaki bir Manyetometre Ölçümü (Ortada), Gündüz Manyetometre Ölçümü (Altta) [11] [12]

Yer uydu gözlemleri, yukarı doğru geniş bant dalgalarının yüksek enlemlerde ve düşük enlemlerde alan çizgisi rezonanslarını (FLR) uyardığını doğrulamaktadır [13]. Liu 2009 yılındaki çalışmasında [14] Themis araştırma bilgilerinin, alan çizgisi rezonanslarının Pc4 aktivitesinde önemli bir etken olduğunu göstermiştir. Pi1 ve Pi2 dalgaları üzerine ise Murphy çalışmış ve 2011 [15] yılında yeryüzü tabanlı istatistiksel çalışmalara göre Pi1 ve Pi2 gücünün uzamsal dağılımını ve gelişimini başlangıç zamanlarına ve yerlerine göre kutuplaşmasını karakterize ederek göstermiştir.

2.1.1 Kelvin-Helmholtz Kararsızlığı

İngilizcesi “Wind Over Water instability” olarak da adlandırılan bu kararsızlık, iki ayrı akışkan katmanın birbirini etkileyen bağıl hareketinde ortaya çıkar. Bu kararsızlık aynı zamanda tam arayüz bölgesinde türbülansa da neden olmaktadır. Claudepierre, Elkington, ve M. Wiltberger 2008 yılında [16] yazdıkları makalede rüzgâr ve manyetosfer etkileşiminin üç boyutlu MHD benzetimleri ile iç manyetosferdeki ultra düşük frekanslı titreşimlerin ilişkisini incelemişlerdir. Benzetim sonuçlarında şafak ve alacakaranlık taraflı manyetopoz yakınlarında ultra düşük frekanslı yüzey dalgalarını gözlemlemişlerdir. Bu yüzey dalgalarının Kelvin-Helmholtz kararsızlığı tarafından etkilendiğini göstermişlerdir.

2.2 Yerkürenin Serbest Salınımları

Yerküre serbest salınım modları aynı zamanda yerkürenin uğultusu (“The Earth Hum”) olarak da bilinir. Kaynağı yerkürenin doğa olayları olarak düşünülür. Bu salınımlar aynı zamanda bir dalga formunda olup, genliği ve frekansı vardır. Ultra düşük frekanslarda görülen bu dalgaların tespit edilmesi zordur ve kayıt süresinin uzunluğu tespit edilmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Kiwamu Nishida’nın [17] çalışmasına göre bu konu ile ilgili kayıt altına alınmış ilk makale Benioff’un “Excitation of the Free Oscillations of the Earth by Earthquakes ” [18] başlıklı çalışmasıdır. 1961 yılında, 1960 büyük Şili depreminden sonra yazılmıştır. Bu tarihten itibaren benzer salınımların öz frekansları ve bozulma oranları ölçülebilir ve karşılaştırılabilir duruma gelmiştir. Düşük frekanslı salınımlar genel olarak depremler sonrası tetiklenmekte ve kaydedilmektedirler. Günümüzde bu salınımlar teknolojinin gelişmesiyle 6,5 büyüklüğünden daha güçlü depremler sonrası gözlenebilmektedir.

Yerkürenin serbest salınımı elastik bir kürenin titreşim teorisine benzetilebilmektedir. Eğer hesaplamaya radyal ve yanal çoktürelilik, yer çekimi, yerkürenin dönüşü, öngerilme, esneksizlik, yönbağımlılık katılırsa durumun karmaşıklığı artmaktadır. Bu durumda salınımın yer yüzeyindeki yer değişimini hesaplamak çok karmaşık bir hal alır. Masters ve Widmer [19] makalesinde bu durumu ayrı ayrı salınım modlarının toplamaları olarak düşünmüş ve bu durumu basitleştirerek daha hesaplanabilir duruma getirmiştir. Düşüncelerine göre her bir modun kendi karakteristik frekansı ve zayıflama oranı vardır. Serbest salınım modlarının genliği, uyaran kaynaya bağlıdır ki genellikle bu kaynak depremlerdir. Depreme yakın bir noktada deprem anında veya hemen deprem sonrasında bu salınımlar kayıt altına alınabilir. Masters ve Widmer bu kayıt altına alınan salınımları matematiksel olarak şiddeti azalan kosinüslerin toplamı şeklinde ifade etmiştir [19]. Masters ve Widmer'in düşüncesi eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$U(t) = \sum_k A_k \cos(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \quad (1)$$

Burada, A_k genliği, ω_k k. modun frekansı, ϕ_k başlangıçtaki faz farkını belirtirken, α_k k. modun azalma oranını kontrol eder ve genellikle modun kalitesi diye isimlendirilen θ_k 'nin içerisinde yazılır.

$$\theta_k = \frac{\omega_k}{2\alpha_k} \quad (2)$$

θ_k büyük ise salınım modunun yayılım halkası çok uzun zaman alıyorken , θ_k küçük ise salınım modu çok hızlı bozulacaktır.

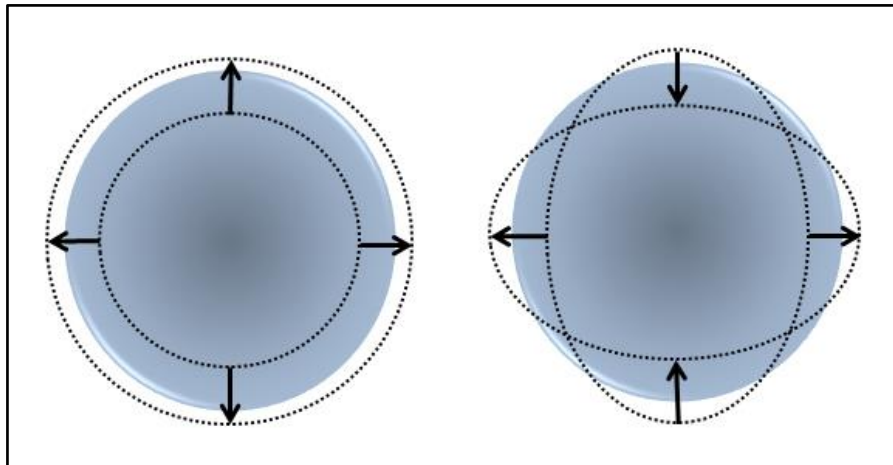
Yerküre sismik enerjilerinin sönümlenmesi zayıftır, bu nedenle titreşim modları yok olmadan önce kayda değer bir şekilde birçok döngü yapabilmektedirler. Eşitlik 3'ten de anlaşılacağı üzere; uzun dalga boyları çok düşük frekans ile ilişkilendirilirler. Birçok döngü yapabilmesinin nedeni ise dalga boylarının çok büyük olmasıdır. Burada c sismik dalgaların yeryüzünde yayılım hızını ifade etmektedir. f frekansı, λ ise dalga boyunu ifade etmektedir.

$$c = \lambda f \quad (3)$$

Singh ve Rani [20] makalesinde yerkürenin serbest salınım modlarının teorik hesaplamaları üzerine çalışmış ve birkaç hesaplamayı örnek göstermiştir. Lamb [21] 1882'de, elastik bir kürenin çeşitli salınım modlarını ele almış ve frekans denklemlerinin bazı önemli köklerini hesaplamıştır. Çalışmalarında kürenin salınımı birinci ve ikinci sınıf olarak ayırarak ifade etmiştir. İlk sınıf salınımına Toroidal salınım, ikinci sınıf salınımına küresel salınım ismini koymuştur.

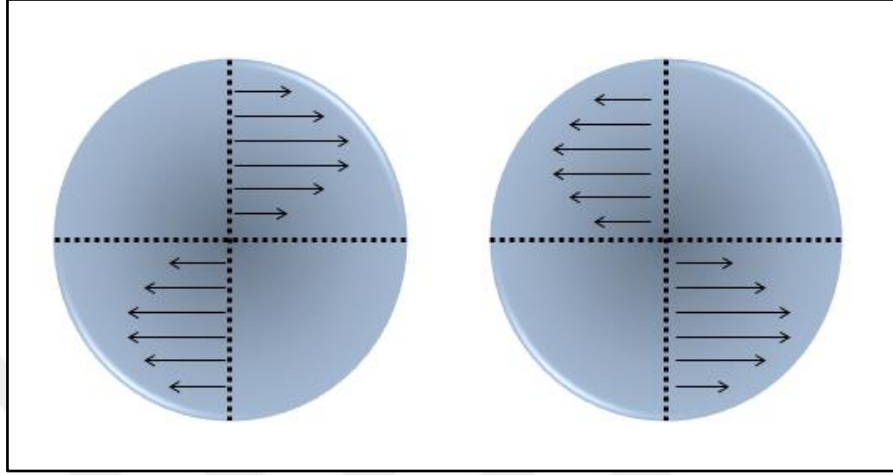
2.2.1 Küresel ve Toroidal Salınım Notasyonu

${}_N S_L$ gösterimi küresel simetrik bir yerküre üzerinde serbest salınımların, sadece küresel harmoniklerle ilişkili yer değiştirme alanlarına sahip olması nedeninden kaynaklanır. L, paralel yer değiştirme alanının düğüm sayısını kontrol eden ilgili küresel harmoniğin harmonik derecesidir. N ise üst tonlamalı dizin olarak adlandırılır. N = 0 durumu, harmonik L. derecenin en düşük frekans moduna tekabül eder ve temel mod olarak adlandırılır. N > 0 durumlarında daha yüksek frekanslara çıkılır ve üst ton olarak isimlendirilir. Son olarak S harfi ise bu modların küresel modları temsil ettiğini gösterir. Küresel modlar yerkürenin sıkıştırılmasını içeren karışık yer değiştirme alanlarına sahiptir. Bu modlar yer çekimi alanından etkilenirler. En basit küresel mod, yer değiştirmenin her yerde aynı olduğu durumdur. Şekil 3'te küresel modların hareketine örnek çizim mevcuttur. Buna benzer hareket yapan modlara radyal mod veya temel radyal mod adı da verilmektedir. Örneğin bu modlardan ${}_0 S_0$ modunun periyodu 20 dakika civarındadır.



Şekil 3: Küresel Mod Hareketlerinin Gösterimi

Yerkürenin serbest titreşim modlarının diğeri bir çeşidi ise Toroidal moddur. N_{TL} olarak gösterilir. Toroidal modun hareketi Şekil 4'te görülebilir. Toroidal modun salınım hareketleri radyal değildir. Herhangi bir sıkıştırma veya genleşme yoktur. Bunun sebebi genleşmenin her yere yayılarak yok olmasıdır.



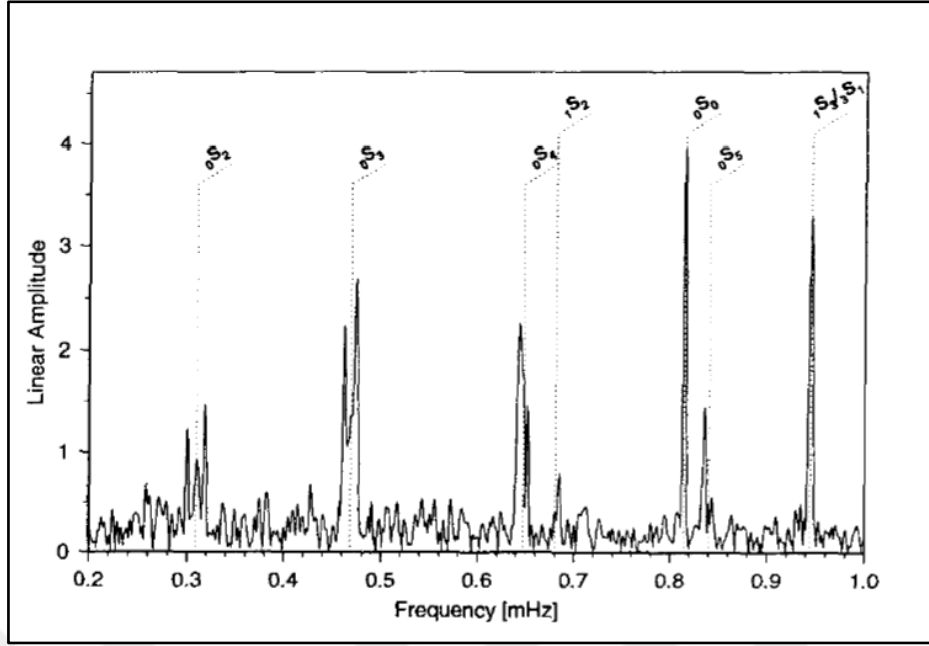
Şekil 4: Toroidal Mod Hareketlerinin Gösterimi

Yerküre iki sebepten dolayı homojen elastik küre tanımından farklılık göstermektedir. Biri yerkürenin yerçekimi, diğeri yerkürenin radyal çoktüreliğidir. Yer çekimi toroidal salınımı etkilememektedir. Bunun nedeni radyal kısmın bulunmaması ve ıraksamanın sıfır olmasıdır. Küresel modlardaysa yer çekimi önemli bir rol oynamaktadır.

Eşitlik 1'deki benzetim basit gibi gözükse de, gözlemler ile uyuşan karmaşık bir dalga formunu verir. Model, elastik ve esneksizlik parametrelerin sadece radyal çeşitlerini içerir. Kıta, okyanus farklılıkları gibi yanal değişimleri göz ardı eder. Bu çeşit yerküre modelleri birçok titreşim hareketlerini doğru şekilde gösterebilir. 1960'dan sonra birçok çalışma grubu küresel modları gözlemlemiş, hesaplamalar ile gözlemlerin tutarlılık içinde olduğunu göstermişlerdir. 1960'dan sonra olan büyük depremler sonucunda, gelişen teknoloji sayesinde birçok salınım ve titreşim verisi elde edilmiş ve daha iyi bir yerküre modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Serbest salınım modları yerküreyi örnekleyerek, yerkürenin yapısını anlamlandırmada çok güçlü yöntemler olmuşlardır. Bununla birlikte yerkürenin iç tabakalarında bulunan yapılar ile ilgili bilgiler de vermektedir.



Şekil 5: 1970 Kolombiya Depremi Doğrusal Spektrum Grafiği [19]



Şekil 6: 1977 Brezilya Sumbawa Depremi Doğrusal Spektrum Grafiği [19]

1960 yılında Şili depreminde S_2 modunun tek tepe noktasından oluşmadığı en az 2 hattan oluştuğu anlaşılmıştır. 1961 yılında Backus ve Gilbert [26] ve aynı yıl bir başka araştırmacı Pekeris [27] eğer yerkürenin dönüşü hesaba katılırsa bu modun tepe noktasının 5 hattan oluştuğunu teorik olarak göstermiştir.

Hesaplamalar yaygınlaştıkça bu çalışmalar da genişlemiştir. Bu hesaplamaları pratik bir şekilde yapmak için, yeterli uzunlukta veri kaydedebilen bir bilgisayara, hızlı bir şekilde Fourier işlemini yapabilecek işlemciler ve nümerik işlemleri kolaylık sonuçlandırabilecek algoritmalara ihtiyaç duyulmuştur.

Masters ve Widmer [19] makalesinde gözlemlenen ve ölçülen modların frekans ve sönümlenme çizelgesini paylaşmıştır. Çizelge 2’de bu tez kapsamında değerlendirilen modların frekansı ve sönümlenme değerleri gösterilmektedir.

Petrova [28] 2008 araştırmasında sismik dalgalara diğer yüzeysel doğa olaylarının da etki ettiğini öne sürmüştür.

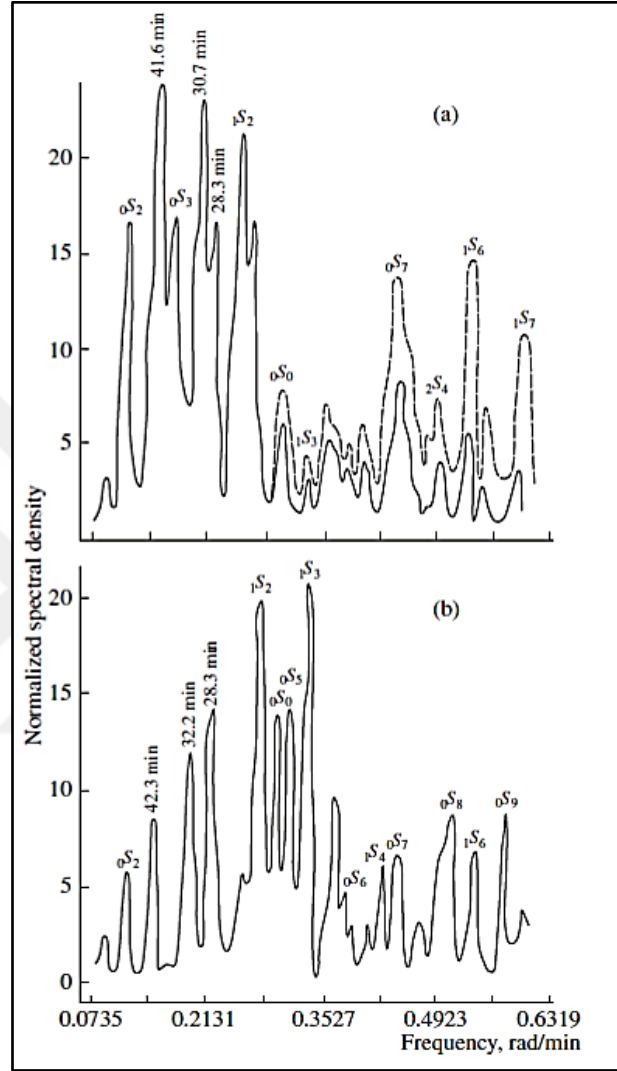
Sismik gözlemlere genellikle atmosferik basınçtaki mevsimsel değişimler de etki eder. Bu etki sisteme gürültü olarak yansır. Şiddetli yağmur ve rüzgâr yüzey genişliğinde keskin değişimlere neden olmaktadır. Büyük fırtınaların geçişi sismik kayıtlarda bozulmalara yol açar. Fırtına içerisinde ve dışarısında hava

yoğunluğunun değışiklik göstermesi ivmeölçerlerde dikey yönlü ölçümlerin bozulmasına neden olmaktadır.

Çizelge 2: Salınım Modlarının Frekans ve Sönümlenme Değerleri [19]

Mod	f (μ Hz) Gözlemlenen	f (μ Hz) Teorik	Periyot (dakika)
$_0S_2$	309,45 $\pm$ 0,15	309,28	53,86
$_0T_2$	377,30 $\pm$ 0,80	379,17	44,17
$_2S_1$	-	403,96	41,26
$_0S_3$	468,55 $\pm$ 0,15	468,59	35,57
$_0T_3$	587,60 $\pm$ 0,70	586,16	28,36
$_0S_4$	646,80 $\pm$ 0,20	647,07	25,77
$_1S_2$	680,00 $\pm$ 0,30	679,85	24,51
$_0T_4$	766,90 $\pm$ 0,40	765,66	21,73
$_0S_0$	814,39 $\pm$ 0,01	814,31	20,47
$_0S_5$	840,08 $\pm$ 0,10	840,42	19,84
$_0T_5$	928,55 $\pm$ 0,25	928,24	17,95
$_2S_2$	-	937,85	17,77
$_1S_3$	939,60 $\pm$ 0,25	939,83	17,74
$_3S_1$	944,20 $\pm$ 0,30	943,95	17,65
$_0S_6$	1037,55 $\pm$ 0,10	1038,21	16,06
$_0T_6$	1078,90 $\pm$ 0,20	1078,83	15,45
$_3S_2$	1106,00 $\pm$ 0,40	1106,21	15,07
$_1S_4$	1172,77 $\pm$ 0,10	1172,85	14,21
$_0T_7$	1221,50 $\pm$ 0,40	1220,70	13,64
$_0S_7$	1230,96 $\pm$ 0,20	1234,79	13,54
$_1T_1$	-	1236,11	13,48
$_2S_3$	1242,96 $\pm$ 0,10	1242,19	13,41
$_1T_2$	-	1320,13	12,63

Daha sonra Petrova [28] yerkürenin iki ayrı yerleşkesinde yapılan ölçümleri değerlendirmiş ve spektral tepelerin %70 tutarlı olduğunu göstermiştir. Örnek bir ölçüm grafiği Şekil 7’de gösterilmiştir. Araştırmasında, belirlenemeyen modların nedeninin coğrafi koordinatların farklı olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.



Şekil 7: (a) St.Petersburg (b) Obninsk Şehirlerinde 1973 Kunashir Depremi Salınımı Frekans Kayıtları Grafiği [29]

Petrova 2008 yılındaki araştırmasında sonuç olarak [28] yerkürenin serbest salınımlarının depremlerin etkisinden bağımsız olarak da gerçekleştiğini belirtmiştir. Çizelge 3’te T1 sinyalleri deprem sonrası kaydedilmiş, T2 sinyalleri ise deprem yokken kaydedilmiştir. İki veri arasındaki hatanın yüzde 1’den düşük olması ve bu verilerin arasında büyük benzerlik bulunması, yerküre serbest salınımlarının deprem etkisi olmadan da sürekli olduğunu ispat etmektedir. Bu tez

kapsamındaki çalışmalarda yerkürenin serbest salınımlarının depremlerle desteklenmediğini aksine sürekli olarak yerkürenin her yerinde gözlenebildiğini göstermiştir.

Çizelge 3: Deprem Anında ve Sonrasında Mod Frekans Ölçüm Değerleri [28]

Modlar	T1 (dakika)	T2 (dakika)	$\frac{ \Delta T }{T} \%100$
$_0S_2$	53,89	54,20	0,55
$_0S_3$	35,651	35,56	0,25
$_0S_4$	25,77	25,15	2,46
$_0S_0$	20,46	20,39	0,34
$_1S_3$	17,73	17,81	0,45
$_0S_6$	16,04	15,90	0,88
$_2S_1$	15,25	15,27	0,13
$_1S_4$	14,20	14,25	0,35
$_2S_3$	13,40	13,36	0,30
$_1S_5$	12,15	12,21	0,49
$_0S_9$	10,57	10,50	0,67
$_2S_6$	9,91	9,94	0,30
$_1S_8$	9,26	9,29	0,32
$_2S_7$	8,94	8,90	0,43

2.3 Gelgit Teorisi (Theory of Tides)

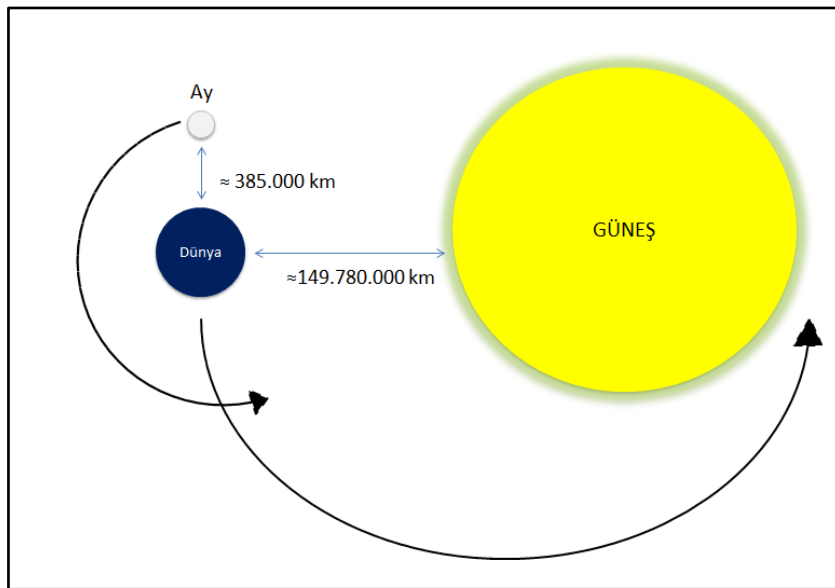
Türkçede gelgit olarak adlandırılan, gerçekte Ay'ın ve yerkürenin yörünge hareketine bağlı olarak kütle çekimi etkisiyle yerkürenin çevresel ve fiziksel yapısında değişimlere neden olan doğa olayıdır. En kolay gözlem yöntemi yerkürenin çeşitli yerlerinde deniz sularındaki yükselmelerdir. Bu yükselmeler günün çeşitli vakitlerinde gerçekleşmekte ve daha sonra ilerleyen zamanlarda eski haline dönmektedir. Gelgit anında denizde oluşan dalğanın en düşük seviyesi ile en yüksek seviyesi arasındaki farka "Tidal Range" gelgit aralığı denir [30] . Gelgit olayları başladığı anda coğrafi konuma göre yüksekliği ve gücü değişen deniz

dalgaları meydana getirir. Açık okyanuslarda gelgit akımları zayıf olurken, boğaz girişlerinde ve haliç yakınlarında bu dalgalar daha kuvvetlidir [31].

Gelgit olayının gerçekleşmesinde ana etken kuvvetin kütle çekim kanunu olduğu 16. yüzyıldan beri bilinmektedir. Isaac Newton 1687’de, gelgitlerin Güneş’in ve Ay’ın çekim kuvvetinden kaynaklandığını açıklamıştır [32]. Newton’un Evrensel Kütle Çekim Kanunu eşitlik 4’te gösterilmiştir. Bu eşitliğe göre iki kütle birbirini kendi kütleleri ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak çekerler. G ise evrensel çekim sabiti olup Newton’dan daha sonra Henry Cavendish tarafından 1798 yılında hesaplanmıştır [33].

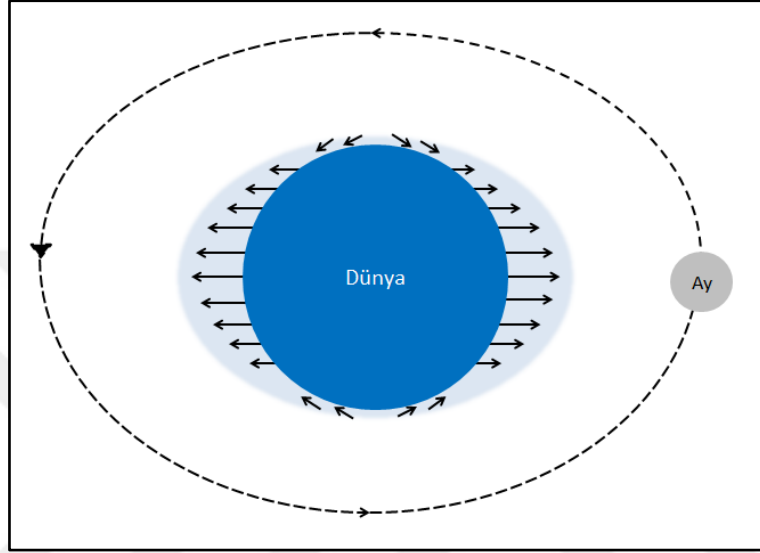
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4)$$

Güneş’in neden olduğu kütle çekim kuvveti ile Ay’ın neden olduğu kütle çekim kuvvetini kıyaslarsak; Güneş çok daha baskın gelmektedir, fakat gelgit kuvvetinde uzaklığın karesi yerine küpü alınmaktadır [34]. Yerküre yüzeyindeki gelgitler daha çok Ay’ın varlığından etkilenmektedirler. Ay yerkürenin çevresinde dönerken yerküre de Ay ile birlikte Güneş’in çevresinde dönmektedir. Ay’ın yerküreye uzaklığı yaklaşık olarak 385.000 km’dir. Güneş’in yerküreye uzaklığı ise 149.780.000 km’dir. Ay’ın kütlesi yaklaşık olarak $0,07346 \times 10^{24}$ kg iken Güneş’in kütlesi $1,9885 \times 10^{30}$ kg’dır [35] [36]. Bunun sonucunda Ay’ın gelgit kuvveti Güneş’in gelgit kuvvetinden daha büyüktür.



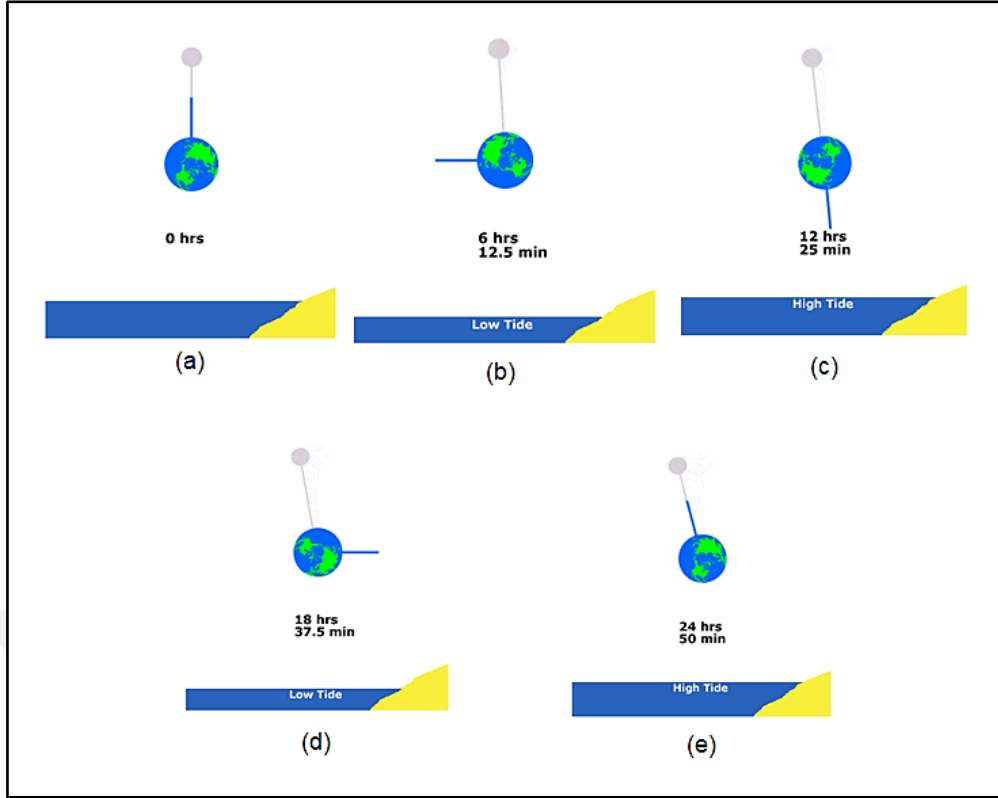
Şekil 8: Yerküre ve Ay'ın Güneş Çevresindeki Mesafe ve Hareket Durumu

Ay'ın çekim gücü, yerkürenin çekim gücü, Güneş'in çekim gücü ve kütlelerin eylemsizlik durumları bir araya geldiğinde gelgit dalgaları belirli bir dengede varlığını sürdürmektedir. Ay'ın yerküreye yakın tarafında baskın güç Ay'ın çekim gücüyken, yerkürenin tam zıt bölgesinde bu güç yerini eylemsizlik durumuna bırakmıştır [31]. Şekil 9'da gelgit dalgalarının yönü Ay'ın konumuna göre gösterilmiştir.



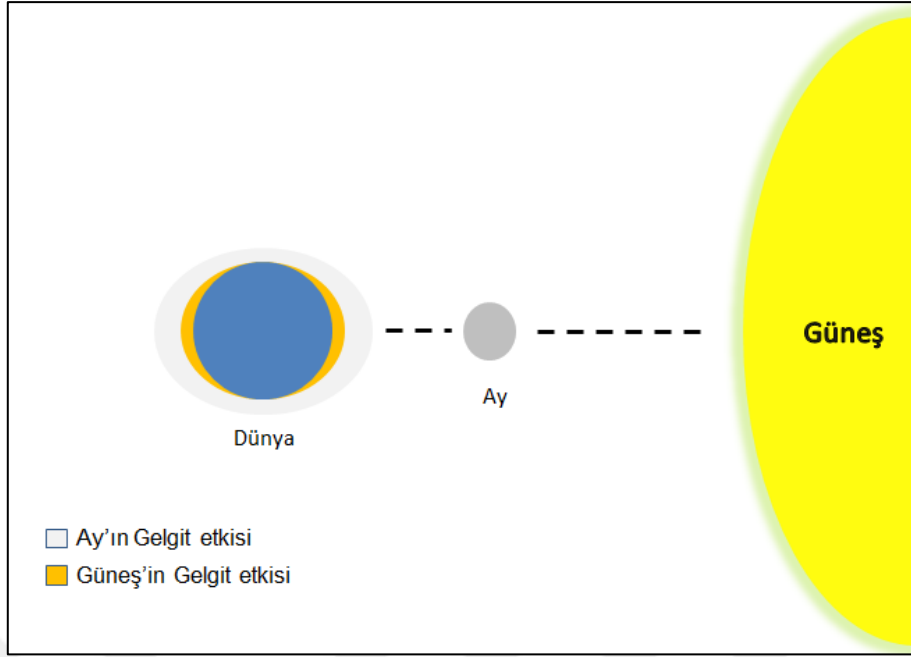
Şekil 9: Gelgit Dalgalarının Ay'ın Konumuna Göre Durumları

Yerkürenin de kendi etrafında dönmesi gelgit dalgalarının sürekli sabit kalmamasını sağlar. Ay'ın yerküreye göre konumu gelgit dalgalarının yüksekliğini ve yoğunluğunu değiştirmektedir. Ay yerküre çevresinde dönerken açısı Ekvator'a göre artar veya azalır, aynı şekilde yerküre de Güneş etrafında dönerken açısını değiştirir. Tüm bunlar gelgit olayını etkiler [32]. Şekil 10'da Ay'ın konumuna göre suyun yükselme durumu gösterilmiştir. Şekil 10(b)'de başlangıç seviyesinden itibaren yaklaşık 6 saat sonra gelgit dalgaları en alt noktaya ulaşır. Şekil 10(c)'de 6 saat sonra Ay yerkürenin başlangıç noktasına göre tam zıt durumunda iken gelgit dalgaları yüksek anına ulaşır. Döngüsüne devam eden Ay tekrar yaklaşık 6 saat sonra gelgit seviyesinin en düşük seviyede olmasına neden olur. Yerküre kendi çevresinde 24 saatte dönerken Ay, yerkürenin çevresinde 24 saat 50 dakikada dönmektedir. Bu durum ise gelgit dalgalarının periyotlarında yerkürenin bir tam gününe oranla dakikalar mertebesinde değişimlere uğramasına neden olur [32] [34].



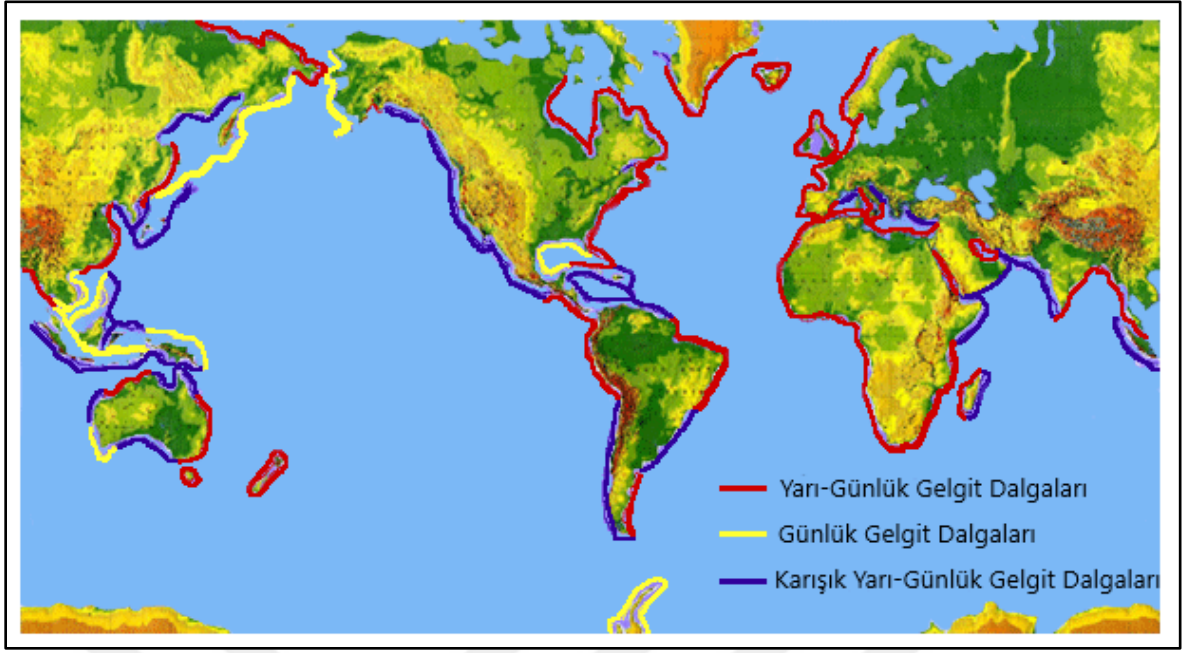
Şekil 10: Gelgit Dalgalarının Yüksekliğinin Ay'ın Konumuna Göre Durumları [30]

Güneş'in etkisini de hesaba katarsak, gelgitlerin durumu biraz daha karmaşıklaşır. Güneş de yerküreye bir çekim kuvveti uygulayacak ve bunun sonucunda kuvvetlerin aynı yönde olduğu, açılal durumda olduğu veya zıt yönde olduğu durumlar ortaya çıkacaktır. Yerküre, Ay ve Güneş hizalandığı zaman gelgit etkisi artacaktır. Şekil 11'de bu durum gösterilmiştir. Bu duruma zıt olarak Ay, Güneş'in yerkürenin duruşuna göre doksan derece açı ile durduğu zaman bu gelgitlerin etkisi sönümlenecektir. Bir ay içerisinde iki defa kuvvetli gelgit olurken, iki defa da zayıf gelgitler oluşmaktadır [32]. Ay'ın yerkürenin çevresindeki yörüngesi ile yerkürenin Güneş'in etrafındaki yörüngesi sabit bir çember değildir. Zaman zaman yakınlaşmalar ve bunun devamında ise uzaklaşmalar yaşanmaktadır. Eşitlik 4'ten de anlaşılacağı üzere mesafe ne kadar azalırsa çekim kuvveti artacak, ne kadar artarsa bir o kadar azalacaktır [32] [34]. Yerküre yüzeyinin her yerde aynı olmaması, kıtaların eşit dağılmaması, kıtaların kıyı şekillerinin farklı olması gelgitlerin yer yüzeyinde farklı etkiler bırakmasına neden olur [32].



Şekil 11: Ay ve Güneş'in Gelgit Durumuna Etkileri

Yerküre üzerinde görülen gelgitler üç modelde incelenir. Birinci modelde bir günde genel olarak iki defa yüksek gelgit iki defa düşük gelgit görülür. Bu gelgit yükseklikleri eşit ise yarı günlük gelgit olarak adlandırılır. Bu yükseklikler eşit olmaz ise; ikinci model karma yarı günlük gelgit olarak adlandırmaktadır. Üçüncü modelde ise günde bir gelgit oluşur. Günlük gelgitler olarak adlandırılan bu model daha çok Meksika Körfezi'nde görülmektedir [31] [32]. Bunlara ek olarak Nova Scotia'daki Fundy Körfezi yerkürenin en yüksek gelgitine maruz kalan yerdir. Burada zaman zaman gelgitlerin boyu metrelerce yüksekliğe ulaşabilmektedir [34]. Yerküre kıyılarının hangi modelde gelgite maruz kaldığını gösteren harita Şekil 12'de gösterilmiştir [37]. Daha sonra yapılan çalışmalar sürekli bir şekilde gerçekleşen gelgit dalgalarının aslında farklı periyotlarda gerçekleştiğini göstermiştir.

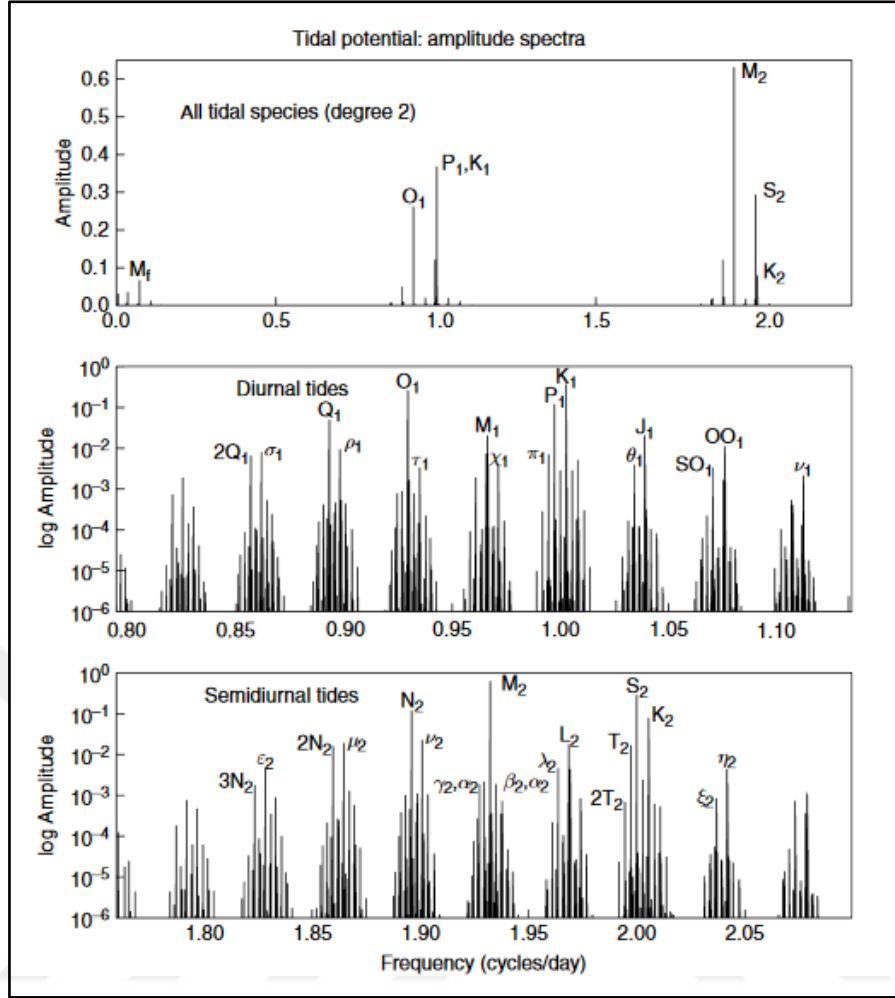


Şekil 12: Gelgit Dalgaları Model Çeşitleri [37]

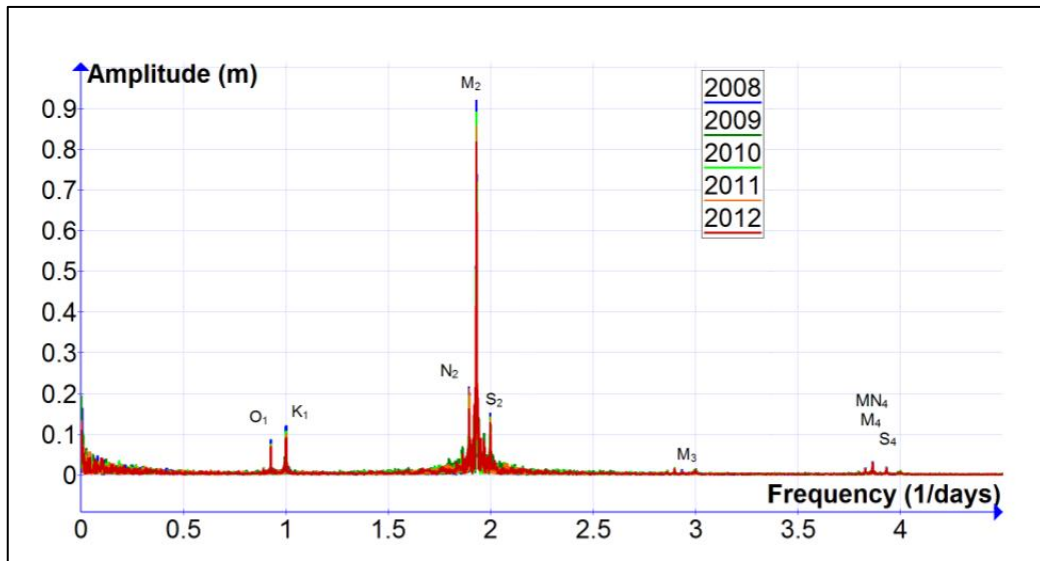
Agnew 2007 yılındaki çalışmasında [38] [39] [40] bu dalgaların frekans spektrumlarını Şekil 13 üzerinde göstermiştir. Şekil 13'ten de görüleceği üzere; periyodu birkaç saati bulan gelgit dalgaları ile periyodu günler mertebesine çıkan gelgit dalgaları mevcuttur. Genliği büyük olan dalgalara daha yakından bakıldığında bu noktalarda birden fazla modda gelgit dalgalarının olduğu anlaşılmaktadır.

E.Courtney ve M.Courtney de 2015 yılında NOAA'dan sağladıkları çok yıllık veriler ile gelgit dalgalarının genlik-frekans çalışmasını yapmışlardır [41]. Şekil 13'te gösterilen spektrum ile Şekil 14'te gösterilen spektrum büyük tutarlılık göstermektedir.

Gelgit dalgalarının periyotları birçok araştırmacı tarafından hesaplanmaya çalışılmıştır. Doodson 1921'de yayınladığı çalışma ile daha sonra gelecek birçok araştırmacıya referans kaynağı olmuştur [42]. Çizelge 4'te bilinen gelgit dalgalarının isimleri ve periyotları verilmiştir [38] [43] [44]. Bu çizelge birkaç kaynağın birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Sıralaması NOAA kurumunun derecelendirmesine göre yapılmıştır. Periyotların kolay tespit edilebilir olması için periyodu yakın olan dalgalar birlikte verilmiştir.



Şekil 13: Gelgit Dalgalarının Doğrusal ve Logaritmik Genlik Spektrum Grafikleri [39] [40]



Şekil 14: Gelgit Dalgalarının Frekans-Genlik Gösterimi [41]

Çizelge 4: Gelgit Dalga Modları, Sembolleri ve Periyotları [38] [43] [44]

Gelgit Dalga Adı	Sembol	Periyot (Saat)
Shallow water overtides of principal lunar	M_4	6,210
Shallow water overtides of principal lunar	M_6	4,140
Shallow water terdiurnal	MK_3	8,177
Shallow water overtides of principal solar	S_4	6,000
Shallow water quarter diurnal	MN_4	6,269
Shallow water overtides of principal solar	S_6	4,000
Lunar terdiurnal	M_3	8,280
Shallow water terdiurnal	$2''MK_3$	8,386
Shallow water eighth diurnal	M_8	3,105
Shallow water quarter diurnal	MS_4	6,103
Principal lunar semidiurnal	M_2	12,420
Principal solar semidiurnal	S_2	12,000
Larger lunar elliptic semidiurnal	N_2	12,658
Larger lunar evectional	v_2	12,626
Variational	MU_2	12,871
Lunar elliptical semidiurnal second-order	$2''N_2$	12,905
Smaller lunar evectional	λ_2	12,221
Larger solar elliptic	T_2	12,016
Smaller solar elliptic	R_2	11,983
Shallow water semidiurnal	$2SM_2$	11,606
Smaller lunar elliptic semidiurnal	L_2	12,191
Lunisolar semidiurnal	K_2	11,967
Lunar diurnal	K_1	23,934
Lunar diurnal	O_1	25,819
Lunar diurnal	OO_1	22,306
Solar diurnal	S_1	24,000
Smaller lunar elliptic diurnal	M_1	24,841
Smaller lunar elliptic diurnal	J_1	23,098
Larger lunar evectional diurnal	ρ	26,723
Larger lunar elliptic diurnal	Q_1	26,868
Larger elliptic diurnal	$2Q_1$	28,006
Solar diurnal	P_1	24,065
Lunar monthly	M_m	661,311
Solar semiannual	S_{sa}	4.383,076
Solar annual	S_a	8.766,152
Lunisolar synodic fortnightly	M_{sf}	354,367
Lunisolar fortnightly	M_f	327,859

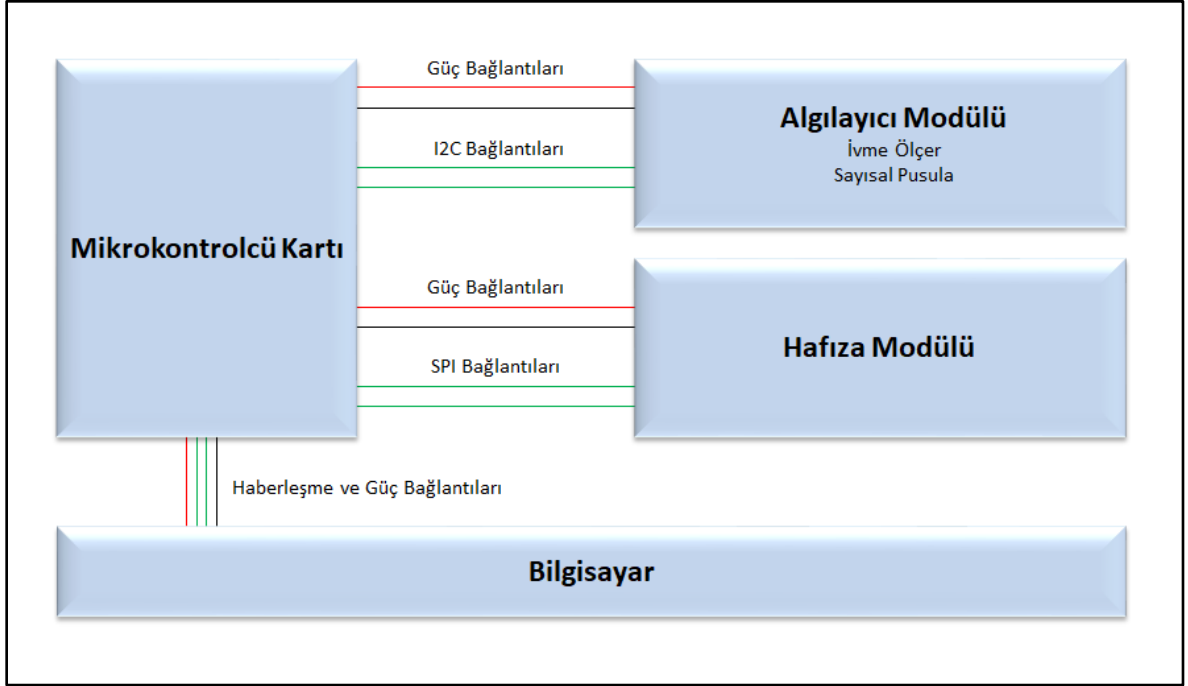
3. GELİŞTİRİLEN ALGILAYICININ DONANIMI VE YAZILIMI

3.1 Donanımın Amacı ve Yapısı

Yerküre manyetik alanı ve yer küre çekim ölçümlerini tutarlı bir şekilde yapabilecek, bu verileri kayıt altına alabilecek, taşınabilir bir düzenek geliştirilmesi hedeflenmiştir.

3.2 Donanım Mimarisi

Test düzeneğinin temel mimarisi Şekil 15'te gösterilmiştir. Algılayıcı düzenek bir ana bilgisayar, bir mikro denetleyici, bir hafıza birimi ve içinde ivmeölçerle manyetometre bulunduran bir algılayıcı modülünden oluşmaktadır.



Şekil 15: Test Kurulumu Şematik Gösterimi

3.2.1 Mikrokontrolcü Kartı

Atmel firmasının ATmega2560 mikro denetleyicisine sahip, ek donanım özelliklerini barındıran ve birçok fonksiyonu içinde bulunduran çok amaçlı dizgili baskı devre kartıdır. İçinde bulunan mikro denetleyici 256 KB flash hafıza, 8 KB SRAM, 4 KB EEPROM, 86 genel amaçlı sayısal giriş çıkışa, gerçek zamanlı saate, farklı karşılaştırma durumlarında çalışan ek saatlere, PWM girişlerine, 16 kanallı 10 bit analog sayısal çeviriciye sahiptir. Besleme gerilimi 4,5 V ile 5,5 V arasını

desteklemektedir. USART, SPI, I2C haberleşme protokolleri ile iletişim kurabilmektedir [45].

Mikrodenetleyici ile baskı devre kartı montajlandıktan sonra çevresine eklenen diğer aktif birimler ile son ürün haline getirilmiş ve kartın genel özellikleri değişim göstermiştir. Ticari ismi Arduino Mega olarak anılan bu kart, bu çalışma için hazır olarak tedarik edilmiştir. Kart 12 V ile 7 V arasında dışarıdan bağlanan bir pil ile çalıştırılabilmekte ve bunun sonucunda güç kaynağına bağımlı olma durumu giderilmektedir. Kartta 54 adet sayısal giriş-çıkış bulunmakta ve 20 mA akım sürebilmektedir. Bu girişlerden 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. SRAM, EEPROM miktarı değişiklik göstermemiştir. Saat frekansı 16 MHz olarak üretici tarafından birçok uygulamayı destekleyecek şekilde seçilmiştir. Kullanılan Arduino Mega kartı açık kaynak kod ve donanım düşüncesi ile üretilmiştir. Bu sayede dışarıdan geliştirmeye açık olduğundan bu çalışmada tercih edilmiştir.

Arduino firması kendi ürünü Arduino Software yazılımı ile dışarıdan herhangi bir ek donanıma ihtiyaç olmadan programlanabilmektedir. Hafızası 256 KB flash hafıza olduğundan yazılan programlar bu sınırı geçememektedir. 256 KB hafızanın 8 KB bölümü kendi iç ön yükleme ayarlarına ayrılmış olup, bu sebep ile bu kısımda hiçbir değişiklik yapılamamaktadır. Geri kalan hafıza birçok uygulamaya yetecek büyüklüktedir.

Analog girişler 10 bit çözünürlük ile sayısallaştırılmaktadır. 0 V ile 5 V arasını 1024 farklı değere ayırarak işlem yapabilmektedirler. Analog çeviricinin referans gerilimi dışarıdan değiştirilebilmektedir. Bu sayede her bir bit için ayrılan gerilim değeri istenilen aralıkta ayarlanabilmektedir.

Arduino Mega dizgili baskı devre kartı, iletişimini bilgisayar ile USB port üzerinden sağlamaktadır. Buna ek olarak kablosuz modüllerle de kullanılabilir. 5 V TTL seri haberleşmeyi desteklemektedir. Arduino Software arayüz yazılımı kullanılarak karttan bilgiler seri haberleşme ile canlı olarak okunabilmektedir. SPI haberleşme protokolünü destekleyen üretici bunun için kütüphanesini de açık kaynak olarak paylaşmıştır. Seri haberleşme hızı yazılım ile ayarlanabilmektedir. Düzgün iletişim kurabilmek ve seri iletişim ile gelen bilgiyi doğru anlamlandırabilmek için programın yüklendiği donanımın iletişim hızı, yazılımın iletişim hızı ile aynı olmalıdır.

3.2.2 Hafıza Modülü

Bu modül, Arduino Mega ile SPI protokolü üzerinden haberleşme sağlayarak, yollanan bilgilerin SD karta yazılmasını sağlayan donanım birimidir. Üzerinde bulunan gerilim düzenleyicilerle geniş gerilim aralığında çalışabilmektedir. Gereksinim duyduğu gerilimi Arduino üzerindeki güç çıkışlarından temin edebilmektedir. Bu modül kullanılırken kendi yazılım kütüphanesine ihtiyaç duyar. Açık kaynak kodlar sayesinde ihtiyaç duyulan kütüphane kolaylıkla bulunabilir ve geliştirilerek birçok uygulamaya dâhil edilebilmektedir. Bu modül aynı anda sadece bir dosya açabilir. Bu dosyaya bilgi yazılabilir ve daha sonra bu dosya kapatılarak saklanabilir. Dosyaya bir bilgi yazmakla bu bilgiyi görüntülemek, bu modül de farklı durumlardır. Her görüntülenen bilgi yazıldığı anlamına gelmemektedir. Kullanılan SD kart uluslararası standartlarla özellikleri belirlenmiş ve bu özelliklere göre sınıflandırılmıştır. Kullanılan SD kart yaklaşık olarak 90 MB/s yazma, 60 MB/s okuma hızına sahiptir. 32 GB hafızası bulunan SD kart bu tez kapsamında kullanılacak bilgiyi kolaylıkla depolayabilecek durumdadır. Veri uzunluğu ve içerik detayı sonuca etki etmesine rağmen bu miktar yaklaşık olarak 4.000 günlük veri büyüklüğüne karşılık gelmektedir.

3.2.3 Algılayıcı Modülü

Arduino kartına bağlanan algılayıcı modülü çok amaçlı kullanım için tasarlanmış olup üzerinde 3 adet açısal hız algılayıcısı, 3 adet sayısal ivmeölçer, 3 adet manyetometre ve 1 adet barometrik basınçölçeri bulundurmaktadır. Algılayıcı modülü olarak GY-80 modeli tedarik edilmiştir.

Çizelge 5: Algılayıcıların Temel Özellikleri [46] [47] [48]

Tanım	Model	Okuma Aralığı	Çözünürlük
İvmeölçer	ADXL345	$\pm 16 g$	31,25 mg
Manyetometre	HMC5883L	± 8 Gauss	3,9 mGauss
Dönü Ölçer	L3G4200D	± 2000 dps	70 mdps

Algılayıcı modülünün kendisi veya çeşitleri dizgili baskı devre kartı olarak hazır bulunabilir ve temin edilebilir durumdadır. Bu modül 2.5 cm x 1.7 cm x 0.2 cm boyutlarında olup, küçük yapısı ile kullanımı kolaydır. Üretim dokümanlarını bulmak ve bu kartı geliştirmek mümkündür. Gereksinim duyduğu güç 3,3 V ve 5 V Arduino üzerinden temin edilebilmektedir. IC2 sayısal haberleşme protokolü ile iletişim kurmaktadır. Algılayıcı modülünde bulunan bileşenlerin okuma aralığı ve çözünürlüğü Çizelge 5'te verilmiştir.

3.2.3.1 Manyetometre

Bu entegre Honeywell firmasının HMC5883L modelidir. Entegrede yönbağımlı manyetik direnç teknolojisi kullanılmaktadır. Entegre yerkürenin manyetik alanının genliğini üç bileşende ölçmektedir. Bu ölçümü miliGauss ile 8 Gauss arasında yapmaktadır. Yön ölçümünü 1 °C ile 2 °C doğruluğunda, manyetik alan genliğini ise ± 2 miliGauss çözünürlük hassasiyetinde başardığını belirtmektedir. 12 bit analog sayısal çeviriciye sahiptir. Anlık ölçümde modülün çevresel durumlardan etkilenmeden, sağlıklı bir şekilde destekleyebileceği en yüksek veri hızı 160 Hz olarak verilmiştir [48]. Devamlı ölçümlerde çıkış veri hızı 75 Hz'e düşmektedir. Entegrenin en yüksek çalışma sıcaklığı 85 °C'dir. Tez kapsamında kurulan sistemin gerekli soğuma durumlarına sahip olması entegrenin ısınmasını engellemiştir. Entegrede kullanılan manyetik dirençler Nikel–Demir ince film direnç teknolojisi ile üretilmiştir. Üzerine gerilim uygulanan dirençler manyetik alanın etkisi ile bulundukları yöne ve manyetik alanın genliğine uygun olarak, sistemin çıkışına üzerindeki gerilimi yansıtmaktadır. Bu sayede manyetik alanın büyüklüğü yorumlanabilmektedir. Entegre harici olarak bir iç saat bulundurmaktadır, fakat bu saat dışarıdan programlanamamaktadır.

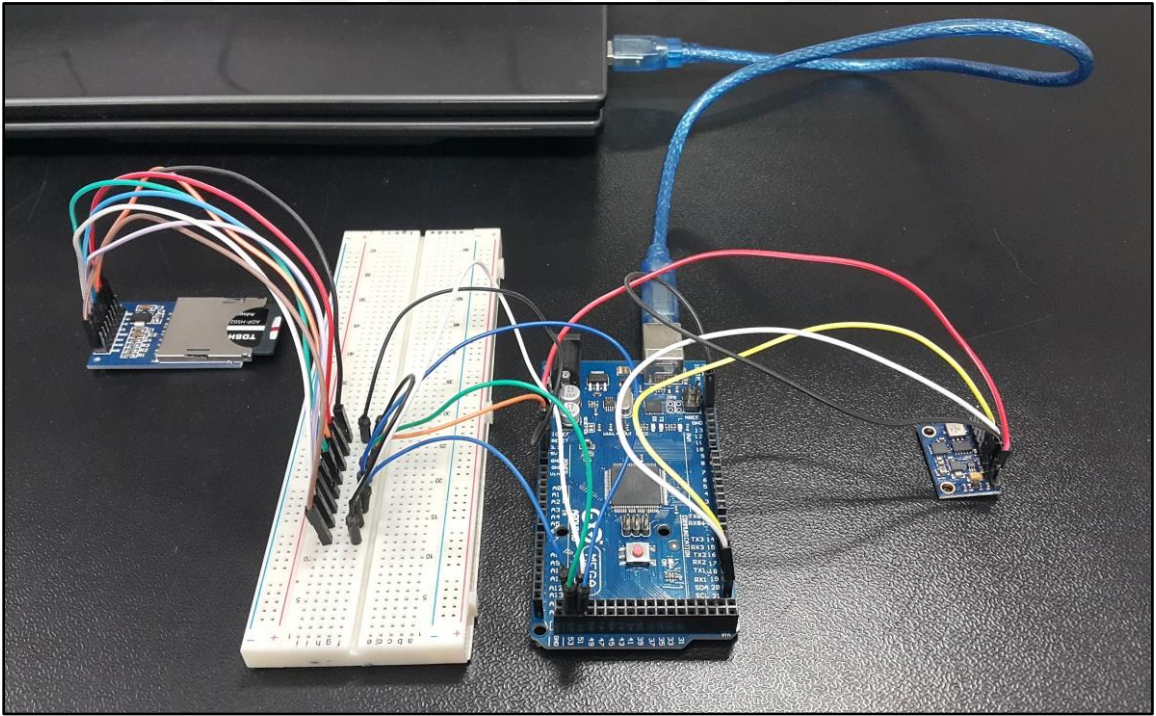
3.2.3.2 İvmeölçer

Bu ivmeölçer Analog Devices firmasının ADXL345 modeli 3 bileşenli ivmeölçer entegresidir. Hareketten veya yerçekiminden oluşan ataletsel ivmeyi ölçmektedir. Boyut olarak küçük olup az güç harcamaktadır. Üç yönlü (X, Y, Z) ölçüm yapabilmektedir. En yüksek ivme ölçümü 16 g'ye kadar çıkmaktadır. Analog–sayısal çeviricisi 13 bit olmasına rağmen 3 bitini düzelterek vermektedir. Bunun sonucu olarak çıkış çözünürlüğü 10 bittir. Bir bit başına 3,9 mg düşmektedir [46]. Çıkış bilgi hızı 3,2 KHz'e kadar çıkmaktadır. Haberleşmeyi SPI ve I2C protokollerinden sağlamaktadır.

3.3 Sistem Entegrasyonu ve Ölçüm Alınması

Algılayıcı kartının bağlantıları Arduino kartına uygun bir şekilde yapılmıştır. Şekil 15'te sistem şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 16'da ise entegre sisteminin bir görseli verilmiştir.

Gereksinim duyulan güç ana karttan temin edilmiştir. Haberleşme bağlantıları I2C protokolüne uygun şekilde yapılmıştır. İlk aşamada algılayıcı kartının düzgün bir şekilde haberleşmesi sağlanmıştır. Bilgisayar aracılığı ile algılayıcı kartından gelen bilgi gözlemlenmiştir. Bu bilgi üç boyutta manyetik alan genliği bilgisi ile üç boyutta ivmeölçer hareket bilgisidir. Bu bilgiler daha sonra programlama ile düzgün bir sırada yazılmış ve okunması kolaylaştırılmıştır. Bunların ardından hafıza kart modülünün Arduino ile haberleşmesi sağlanmıştır.



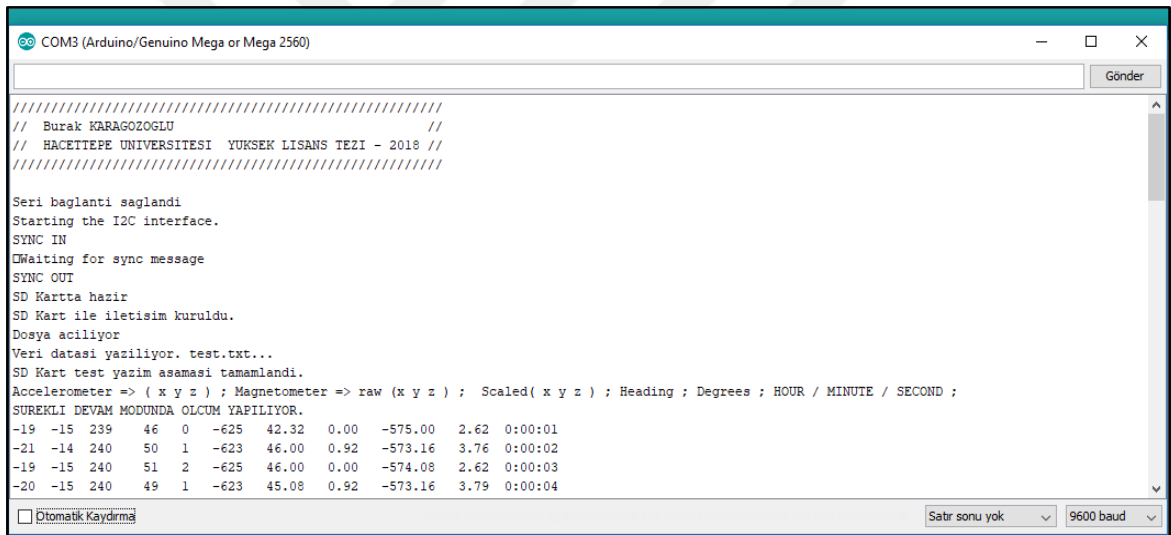
Şekil 16: Test Düzeneği

SD kart içerisine bilgiler yazılmış, daha sonra okunmuş ve ana programlama koduna düzgün bir şekilde dâhil edilmesi sağlanmıştır. Algılayıcılardan gelen bilgi hafıza kartı içerisine yazılmış ve kayıt altına alınmıştır. Sistemde oluşabilecek hatalar tespit edilip ve giderilmiştir. Uzun dönemlik test ölçümleri yapılmış ve bu

testler başarı ile geçilmiştir. Isınmadan kaynaklanabilecek yanlış okuma sorunları, algılayıcıların sadece ihtiyaç duyulduğunda çalıştırılması ve böylece gereken soğuma zamanına sahip olunması ile giderilmiştir.

3.4 Yazılımın Hazırlanması ve İçeriği

Kodun yazılması, derlenmesi ve yüklenmesi Arduino'nun sağladığı açık kaynak kodlu Arduino Software ile yapılmıştır. C tabanlı bu programlama dili Arduino tarafından desteklenmekte ve güncellenmektedir. Kütüphaneleri kullanıcılara açıktır. Hazırlanan kod Arduino kartının gücü kesildiğinde veya RESET durumuna geçtiğinde baştan başlamaktadır. Her baştan başlama durumunda kodun girişinde bulunan tek satırlık açıklama hafızadaki veri kayıtlarına geçmektedir. Bu uygulama ile kodun kesintisiz çalışıp çalışmadığı gözlemlenmektedir.



```
#####  
// Burak KARAGÖZÖĞLU  
// HACETTEPE UNIVERSİTESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ - 2018  
#####  
  
Seri bağlantı sağlandı  
Starting the I2C interface.  
SYNC IN  
Waiting for sync message  
SYNC OUT  
SD Kartta hazır  
SD Kart ile iletişim kuruldu.  
Dosya açılıyor  
Veri datası yazılıyor. test.txt...  
SD Kart test yazım aşaması tamamlandı.  
Accelerometer => ( x y z ) ; Magnetometer => raw ( x y z ) ; Scaled ( x y z ) ; Heading ; Degrees ; HOUR / MINUTE / SECOND ;  
SÜREKLİ DEVAM MODUNDA OLCUM YAPILIYOR.  
-19 -15 239 46 0 -625 42.32 0.00 -575.00 2.62 0:00:01  
-21 -14 240 50 1 -623 46.00 0.92 -573.16 3.76 0:00:02  
-19 -15 240 51 2 -625 46.00 0.00 -574.08 2.62 0:00:03  
-20 -15 240 49 1 -623 45.08 0.92 -573.16 3.79 0:00:04  
  
☐ Otomatik Kaydırma Satır sonu yok 9600 baud
```

Şekil 17: Sistem Ekran Görüntüsü Örneği

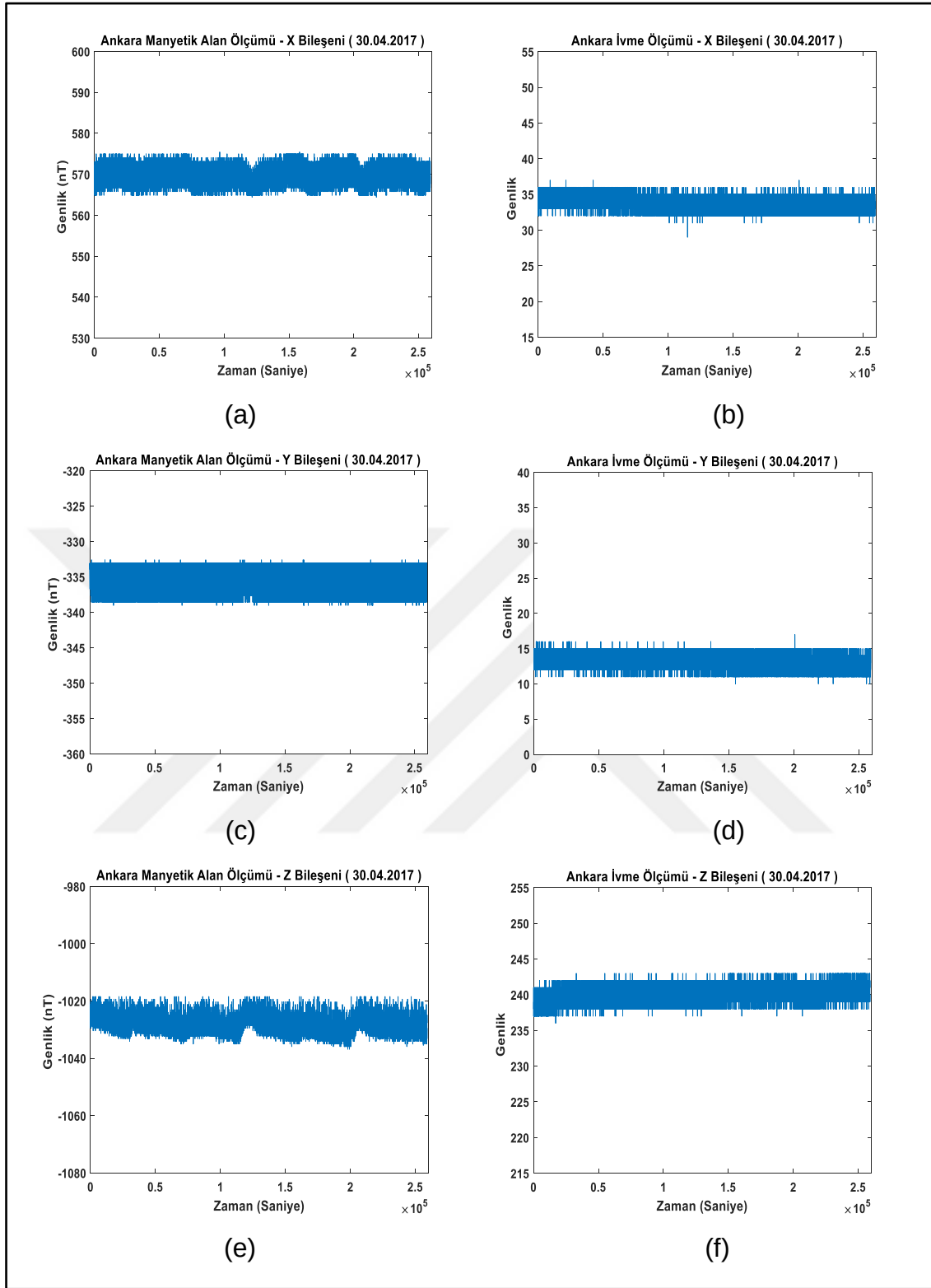
Şekil 17’de seri görüntüleme yapılan sistemin ekran görüntüsü görülmektedir. Üst satırlardaki bilgi ve durum yazıları sistem başladığında bir defaya mahsus çıkacak şekilde ayarlanmıştır. Sayılardan oluşan satırlarda ise artık sadece gelen seri bilgi bulunmaktadır. Bu şekilde görüntülenen bilgi depolama alanına daha sade şekilde sadece tek satırlık durum bilgisi bulundurulmuş olarak kaydedilmektedir. Kayıt altına alınan veri .txt formatındadır. Elde edilen veriler daha sonra bilgisayar ortamında MATLAB programı ile incelenmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, ilk aşamada hazırlanan donanım ile manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerle birlikte eş zamanlı yerçekimi ölçümleri ivmeölçer vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiş ve daha önce yapılan test ölçümleri ile oluşabilecek sistematik hatalar tespit edilerek son aşamada daha güvenilir bir ölçüm yapılması sağlanmıştır. Ölçüm süresi olarak önce 24 saatlik test verileri üzerinden çalışılmış, daha sonra bu sürenin 72 saat olması kararlaştırılmıştır. Bu verilere ek olarak yerkürede manyetik alan ölçen istasyonlar araştırılmış ve testin yapıldığı tarihlerde eş verilere sahip istasyonlar belirlenmiştir. Intermagnet [49] sitesinde birçok jeomanyetik gözlemevlerinin bulunduğu tespit edilmiş ve bu kurumun verileri çalışmada hem analiz hem karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

Ölçüm yöntemi olarak kendi verilerimize uygun üç istasyon seçilmiştir. Bunlardan ilki İsveç, Lycksele’de bulunan “Geological Survey of Sweden” İsveç Jeolojik Araştırma Kurumu’nun “LYC” kısaltmalı Lycksele istasyonudur. Bu istasyon 64,6 enlem, 18,8 boylam koordinatlarında bulunmaktadır. İkincisi yine aynı kurumun Uppsala kentinde bulunan “UPS” kısaltmalı Uppsala istasyonudur. Bu istasyon ise 59,903 enlem, 17,353 boylam koordinatlarında bulunmaktadır. Sonuncusu Kanada Alberta’da bulunan “Geological Survey of Canada” Kanada Jeolojik Araştırma Kurumu’nun “MEA” kısaltmalı Meanook istasyonudur [49]. Bu istasyonun koordinatları ise 54,616 enlem 246,653 boylamdır. İstasyon seçimi öncesi bu kurumlardan alınan verilerde araştırma yapılmış ve verilerde herhangi bir kesinti veya doyma durumu olmamasına dikkat edilmiştir.

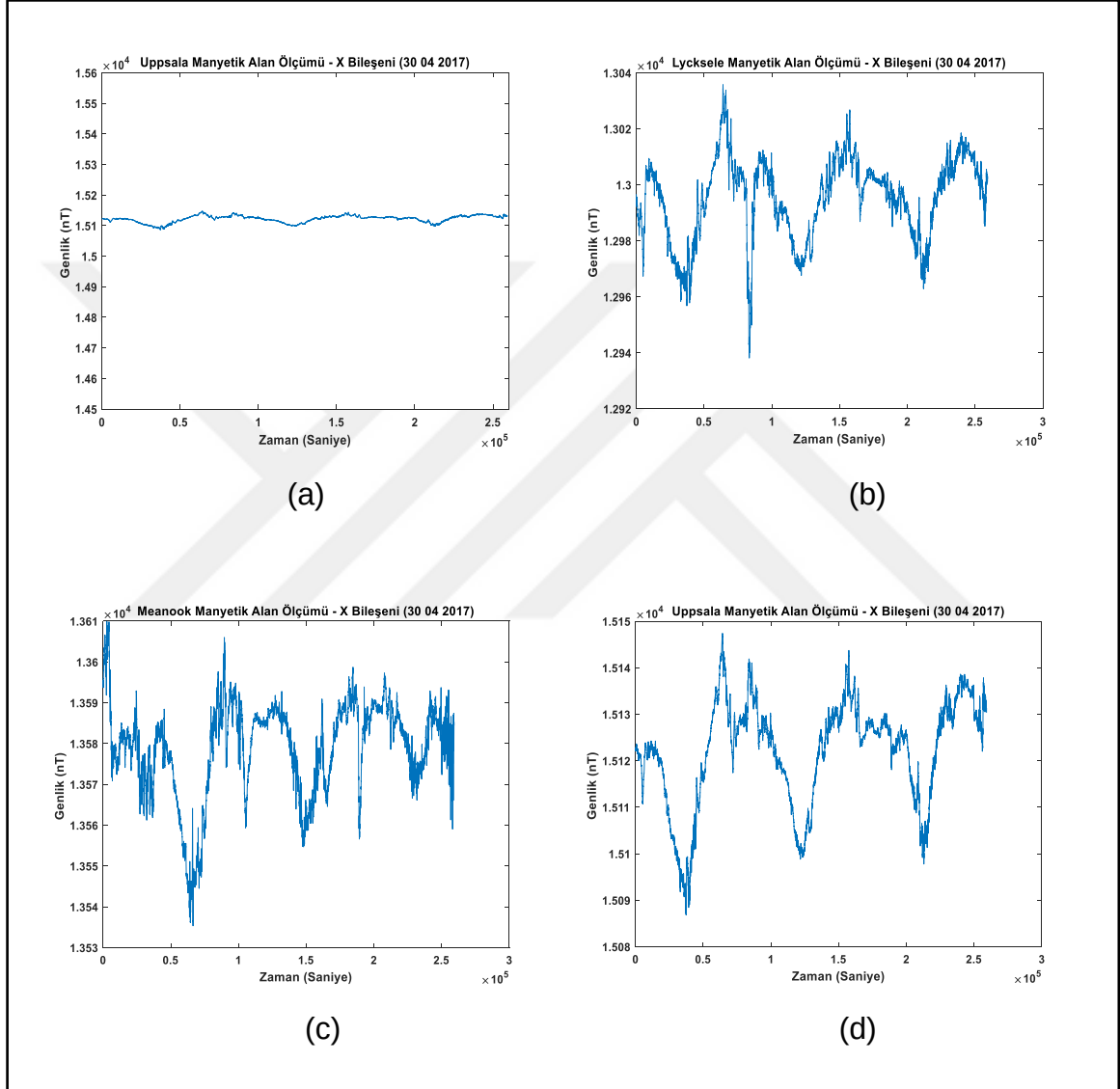
Ankara’da yapılan ölçümler 40,000 enlem 32,878 boylam koordinatlarında bir konutta gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yönü olarak yerkürenin manyetik kutupları esas alınmış ve algılayıcılar bu duruma göre yerleştirilmiştir. Şekil 18’de bu ölçümlerin sonuçları gösterilmiştir. Ölçümler zaman bileşeni 72 saat uzunluk alınarak bakıldığında düz bir çizgiye benzemektedir. Manyetik alanın genliğinde büyük değişimler meydana gelmemekte fakat şekillere daha yakından bakıldığında düz bir çizgiden farklı olan hareketlerin bulunduğu görülmektedir. Ölçümler üç bileşende yapılmış ve bu üç bileşende benzerliklerin bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 18: Ankara'da Yapılan 72 Saat Uzunluğundaki Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri

Ankara'da yapılan ivme testinin sonuçları da aynı şekilde gözükmemektedir. Aynı şekil üzerinde ivme ölçümlerinin üç bileşende yapılan ölçümlerinde, manyetik alana göre daha az değişim olduğu fark edilmektedir.

Şekil 19’da gözlemlerinden alınan veriler görülmektedir. Bu verilerde, ölçümlerin daha hassas donanımlarla yapılması sonucu, çözünürlüğü daha yüksek verilerin oluşması sağlanmıştır. Şekil 19(a)’ya bakıldığında neredeyse sabit bir sinyal olduğu fakat Şekil 19(b), Şekil 19(c) ve Şekil 19(d)’de sinyallere yaklaşıldıkça sinyallerdeki değişimlerin daha rahat fark edildiği görülmektedir.



Şekil 19: Gözlemlerinden Alınan Manyetik Alan Ölçümleri

Zaman eksenini ve ölçüm başlangıç tarihi 30 Nisan 2017 saat 00.00’da başlamakta ve saniyede bir örnekleme ile devam etmektedir. Süre uzunluğu 72 saattir. Manyetik alan ölçerlerde genlik eksenini nT biriminde, ivmeölçerler de ise genlik eksenini mg büyüklüğündedir. İvmeölçerinin kullanımı kolay olması amacıyla ölçümü

her bir 0,062 mg'ye karşılık 1 birim olarak atanmıştır. Pusula açısı 0 derece olacak şekilde ayarlanmış ve Z bileşen yönünün yeryüzüne göre yukarı şekilde bakması sağlanmıştır.

İlk bakışta da benzerliklerin görüldüğü bu sinyaller, tez raporunun ilerleyen bölümlerinde detaylı anlamlandırılacaktır. Algılayıcıların yönelimi gereği, salınımların algılanması veya tespit edilmesi farklılık göstermektedir. Daha önce de anlatılan yerkürenin sahip olduğu bu salınımlar her bileşende aynı etkiyi yaratmamakta, bu durum sonucunda da bu salınımların tespit edilmesinde doğal güçlükler çekilmektedir. Örneğin yerkürenin yatay bileşenlerinde var olan titreşimler, ivmeölçerin her bileşeninde benzer şiddette ve benzer sadelikte görülememektedir. X ve Y bileşenlerinde var olan sinyallerin Z bileşeninde görülememesi doğal kabul edilmelidir.

Teze konu olan sinyallerin tespit edilmesinde istatistiksel sinyal işleme teknikleri kullanılmıştır. Özilinti ile sinyaller arası benzerlikler olup olmadığı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Daha sonra ise sinyallerin güç spektral yoğunlukları hesaplanmış ve sinyaller arasındaki benzerliklerin hangi frekanslarda ne yoğunlukta olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu iki yöntem kısaca anlatıldıktan sonra uygulamalardaki sonuçları gösterilecektir.

4.1 Kullanılan Analiz Araçları

4.1.1 Özilinti

Bir sinyali, kendisiyle zaman gecikmeli olarak ilişkisini ortaya koymaktadır. Genellikle bir sinyalin içerisinde gürültünün altına gizlenmiş, periyodik olarak kendini tekrar eden alt sinyalleri bulmakta kullanılır. En yüksek ilişki sinyalin üst üste geldiği andır.

4.1.2 Çapraz İlinti

Bir sinyali, başka bir sinyal ile gecikmeli olarak ilişkisini ortaya koymaktadır. İki sinyal arasındaki benzerlik çapraz ilinti sonucunda, tepe noktalarında belirgin olur. Bunun nedeni ise iki sinyalin tam tepe noktalarında denk geldiği an, zaman noktasında hizalanmasıdır.

4.1.3 Özilinti ve Çapraz İlinti Fonksiyonları

$x[k]$ ve $y[k]$ kesikli zamanda tanımlanmış iki sinyal olarak alınırsa;

$$R_{xx}[k] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]x[m+k] \quad (5)$$

$$R_{yy}[k] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} y[m]y[m+k] \quad (6)$$

$$R_{xy}[k] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]y[m+k] \quad (7)$$

Sırası ile x sinyalinin özilinti fonksiyonu, y sinyalinin özilinti fonksiyonu ve x-y sinyalinin çapraz ilinti fonksiyonu olarak tanımlanır.

Özilinti fonksiyonlar, bir sinyalin içindeki periyodik bileşenlerin periyotlarını belirlemek amacı ile kolayca kullanılabilir. $R_{xx}[k]$ fonksiyonunun bir k_* indisinde lokal maksimuma ulaşması durumunda x sinyalinin içindeki k_* periyoduna sahip bileşenin bulunduğu işaret eder. k_* periyotlu bir sinyal, N tamsayı olmak üzere Nk_* ile de periyodik olduğundan tespit edilen en küçük periyot esas alınmalıdır.

Benzer bir yöntemle, iki farklı sinyal arasındaki zaman gecikmesi de çapraz ilinti fonksiyonunun maksimizasyonu ile belirlenebilir.

$$k_{gecikme} = \underset{k}{\operatorname{argmax}} R_{xy}[k] \quad (8)$$

4.1.4 Nümerik Türevleme

Benzerliklerin daha kolay ortaya çıkarılması için nümerik türevden yararlanılmıştır. Eşitlik 9'da gösterilmiştir.

$$\dot{X}(t) \approx \frac{x(t) - x(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (9)$$

Bu uygulamada Matlab'ın "diff" fonksiyonu kullanılmıştır. Bu komutun çalışma prensibi, tek boyuttaki veriyi türev alırken bir sonraki değerden bir önceki değeri çıkartarak yapmasıdır. Eşitlik 10'da bu ifadenin yazılımsal gösterimi belirtilmiştir. Bu uygulama tekrar şeklinde veya döngü olarak da yapılabilir. Bu işlem iki defa yapıldığında verinin ikinci türevini almakta, n defa yapıldığında verinin n. türevini almaktadır. Bu işlemin sonucunda veri miktarı yapılan türev işlemi sayısı kadar azalmaktadır. Birçok defa türev almanın sonucunda, sinyalin tepe

noktalarının çevresini daha sinüzoidal gösterdiği görülmüştür, fakat bir noktadan sonra daha fazla türev almanın sinyali değiştirmedeği tespit edilmiştir.

$$\text{diff}\{X(n)\} = \{[x[2] - x[1]], [x[3] - x[2]], [x[4] - x[3]], \dots, [x[n] - x[n-1]]\} \quad (10)$$

Tez kapsamında ölçülen salınımların daha önce eşitlik 1'de gösterilen formda olduğu değerlendirilmiştir.

$$U(t) = \sum_k A_k \cos(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \quad (10)$$

Birinci türevi alındıktan sonra $\dot{U}(t)$, eşitlik 11'e dönüşmüştür. İkinci türevinden sonra eşitlik 12 elde edilmiştir.

$$\dot{U}(t) = \left(\sum_k A_k (-\omega_k) \sin(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \right) + \left(\sum_k A_k (-\alpha_k) \cos(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \right) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \ddot{U}(t) = & \left(\sum_k A_k -(\omega_k)^2 \cos(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \right) + \left(\sum_k A_k 2(\omega_k)(\alpha_k) \sin(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \right) \dots \\ & \dots + \left(\sum_k A_k (-\alpha_k)^2 \cos(\omega_k t + \phi_k) e^{-\alpha_k t} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Daha sonra bu eşitliği genel bir gösterime çevirmek için, eşitlik 13 ve eşitlik 14 dönüşümünü yapılmaktadır.

$$p(t) = A_k \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (13)$$

$$q(t) = e^{-\alpha_k t} \quad (14)$$

Dönüşümden sonra eşitliği tekrar düzenlersek genel durum eşitlik 15'teki gibi olmaktadır.

$$U(t)^n = \binom{n}{0} p^n(t) q^1(t) + \binom{n}{1} p^{n-1}(t) q^2(t) + \binom{n}{2} p^{n-2}(t) q^3(t) \dots \binom{n}{n} p^1(t) q^n(t) \quad (15)$$

Eşitlik 15'i bölmelere ayırarak türevin sonucunu incelersek, eşitlik 13'te görüldüğü üzere ilk parçanın türevi alındıkça sinüzoidal terimin başına w_k frekans durumu çarpım olarak eklenmektedir. Türev sayısının derecesine göre w_k 'nin da derecesi artmaktadır. Bu işlemin sonucunda yüksek frekansa veya bir başka deyişle düşük periyoda sahip sinyallerin etkisi ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, ULF sinyallerinin içindeki periyodik bileşenleri ön plana çıkarmak için yüksek mertebeli nümerik türevleme yönteminden yararlanılmıştır.

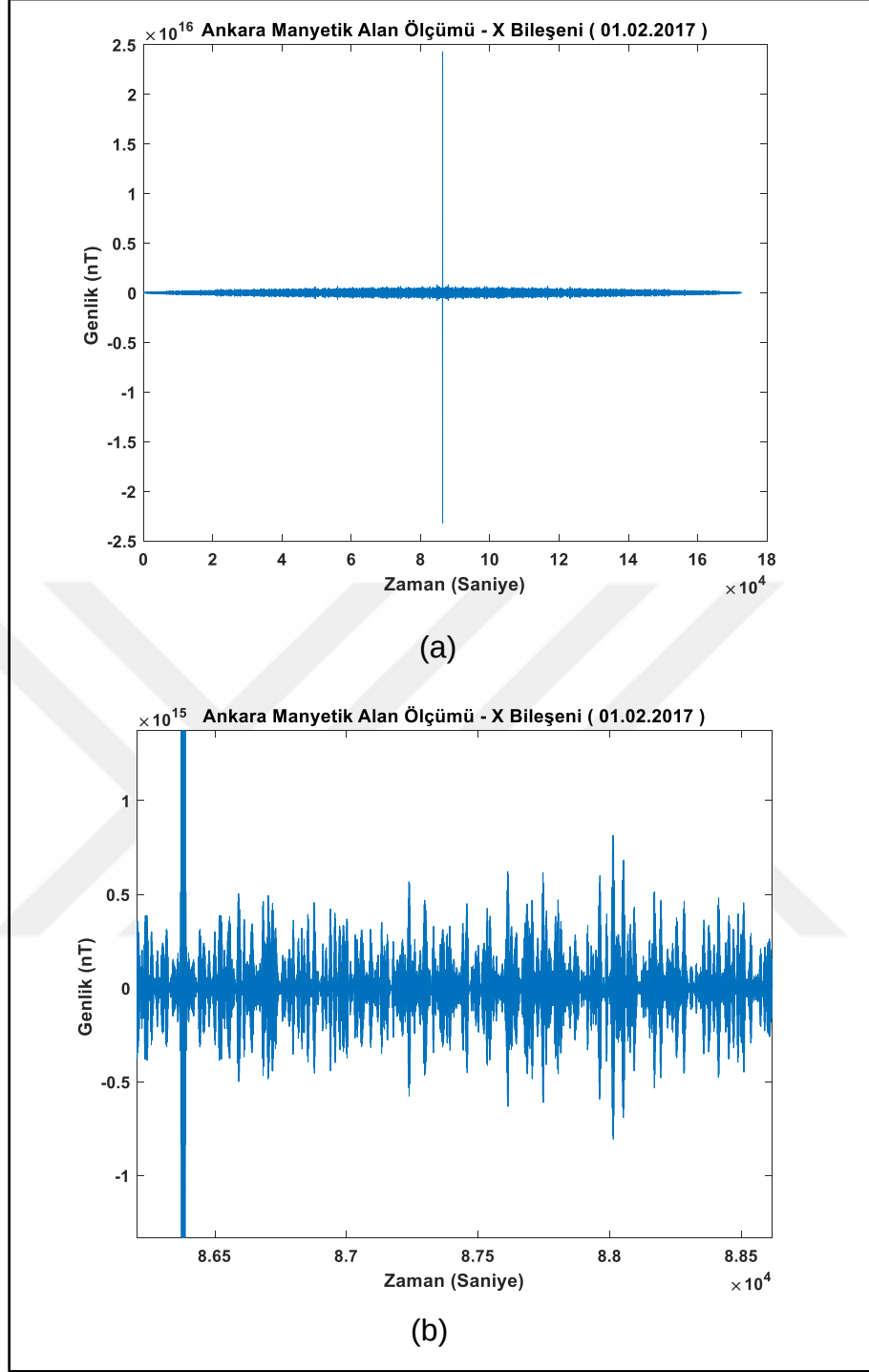
4.2 Özilinti Yöntemi ile Periyodik ULF Sinyallerinin Tespit Edilmesi

18 Ocak 2017, 31 Ocak 2017 ve 1 Şubat 2017 tarihlerinde 24 saat süresi boyunca her bir saniyede bir örnek alınmıştır. Ölçümler 00:00'da başlamış ve ertesi gün 00:00'da tamamlanmıştır. Ölçümlerin içerisinde üç bileşende (X, Y, Z) manyetik alan ölçümü ve üç bileşende (X, Y, Z) ivme ölçümü bulunmaktadır. Bu günlerde alınan verilerin ilk önce türevleri alınmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Yeterli miktarda denemeden sonra uygun türev derecesi belirlenmiş ve devamında bu sinyallerin özilintisi alınmıştır.

Sonuç grafiklerinin, merkezde en yüksek değerde olması beklenen bir durumdur. Bu durum beklenildiği gibi gerçekleşmiş ve buna göre ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Şekil 20(a)'da bir özilinti çalışmasının ilinti grafiği mevcuttur. Şekil 20(b)'de ise grafiğin merkez sağ tarafına yakından görüntülenmesi yapılmıştır.

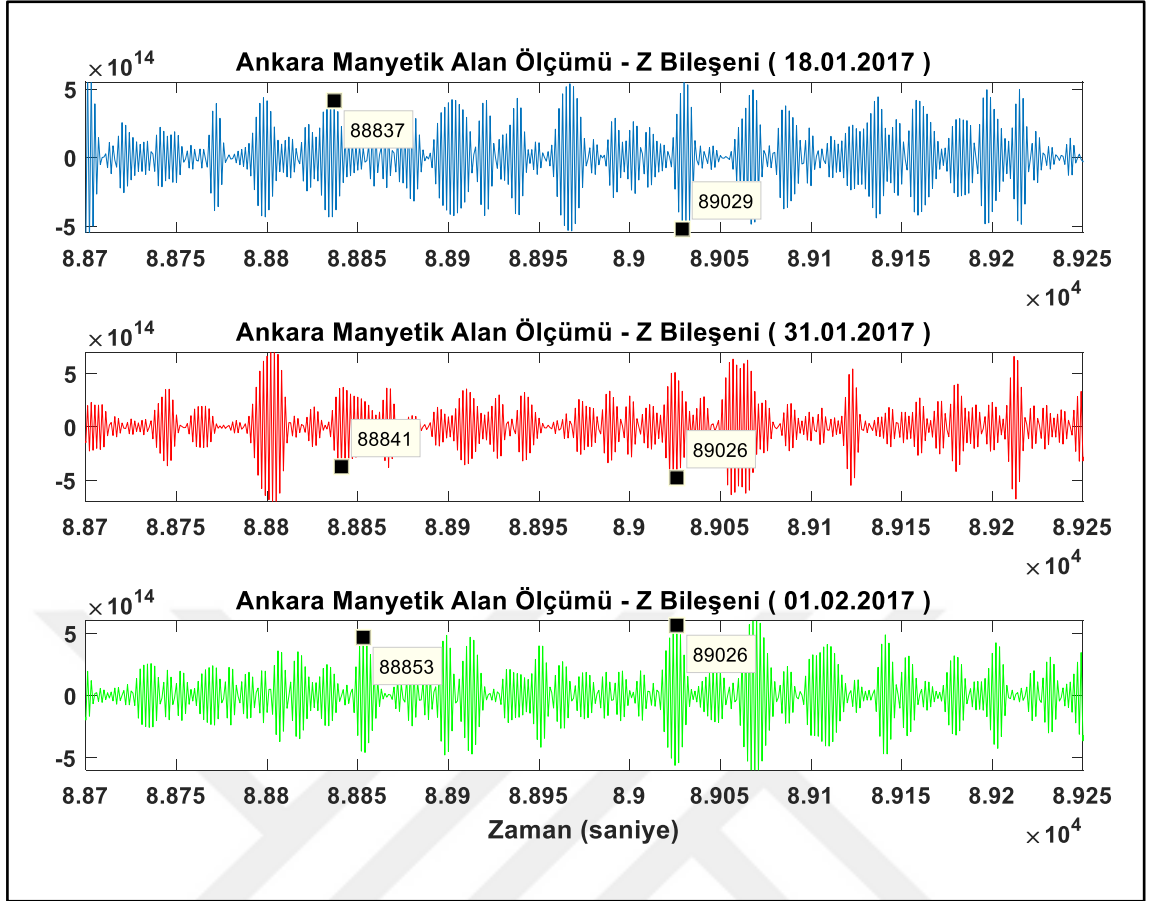
Tepe noktaları belirlenirken, diğer noktalara göre çok daha baskın olanlarla yüksek değerde olanlar seçilmiştir. Şekil 6'da görülen, Küresel ve Toroidal Salınımların Notasyonu konusunda anlatılan tepe noktalarının çoklu olma durumu burada birçok noktada görülmektedir. Bulunan tepe noktaları daha önce teorik olarak hesaplanan ve sonrasında da deneylerle ölçülen salınım periyotları ile karşılaştırılmıştır.

Hata hesaplaması yapılırken bu tepe noktalarından baskın olanın zaman eksenindeki değeri tespit edilmiştir. Bu noktaların merkeze olan uzaklığı hesaplanmış ve buradan periyodu ortaya çıkarılmıştır. Bu şekilde belirlenen periyotlar, teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçlara göre %1 veya daha az göreceli hata bulunan periyotlar belirlenmiştir.



Şekil 20: Ankara Manyetik Alan Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği

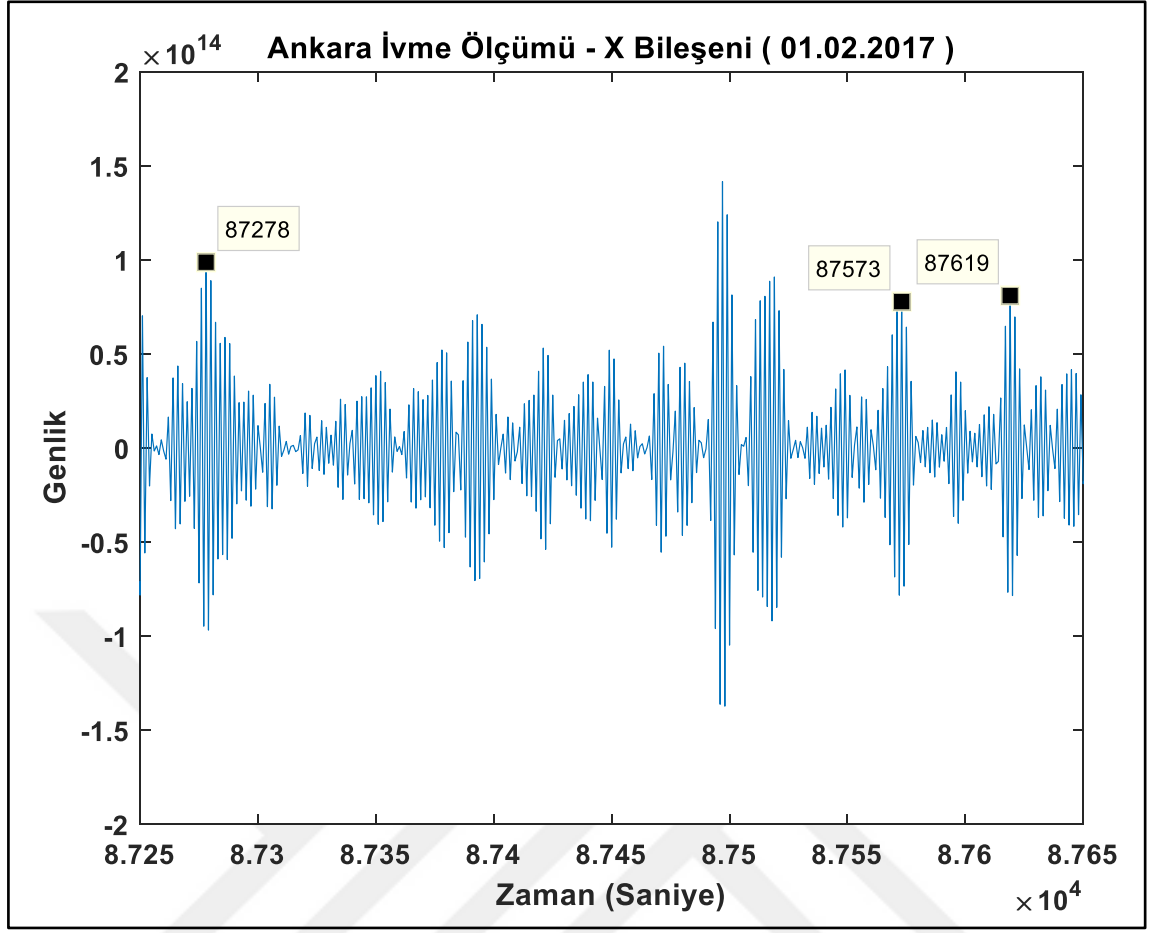
Şekil 21’de örnek bir özilinti çalışması bulunmaktadır. Üç güne ait özilinti grafikleri, birlikte alt alta gösterilerek anlaşılması daha kolay bir duruma getirilmiştir. Bu grafikte manyetik alan ölçümü Z bileşeninde hata oranı %1’in altında tespit edilmiştir. Bulunan frekans noktalarının hizalandığı açıkça görülmektedir.



Şekil 21: Ankara Manyetik Alan Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği Z Bileşeni

Sinyal frekansı hesaplanırken orta nokta bu değerden çıkarılır ve örnekleme frekansına göre işlem yapıldıktan sonra periyodu hesaplanmaktadır. Orta noktanın hesabında kullanılan türevin sayısı dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi her türev işleminde sinyalin bir örnekleme değerini kaybetmesidir. 89029 ve 89026 noktalarında bulunan özilinti sinyalleri ${}_0T_2$ moduna çok yakın bulunmaktadır. 88837, 88841, 88853 noktaları ise ${}_2S_1$ moduna çok yakındır. Hata oranı %1'in altında kalmaktadır.

Bir diğer örnek Şekil 22'de ise 87278 noktasında ${}_3S_2$ modu, 87573 noktasında ${}_0S_5$ modu ve 87619 noktasındaysa ${}_0S_0$ modu bulunmaktadır. Üç farklı gün, üç farklı bileşen ve manyetik alan ile ivme ölçümleri olarak 2 farklı fiziksel boyut üzerinden yapılan bu çalışmada, 250 adet %1'den daha az hatalı periyodik bileşen bulunmuştur. Bunların 173 tanesi %0,5'ten daha küçükken, 55 tanesi ise %0,1'den küçüktür.



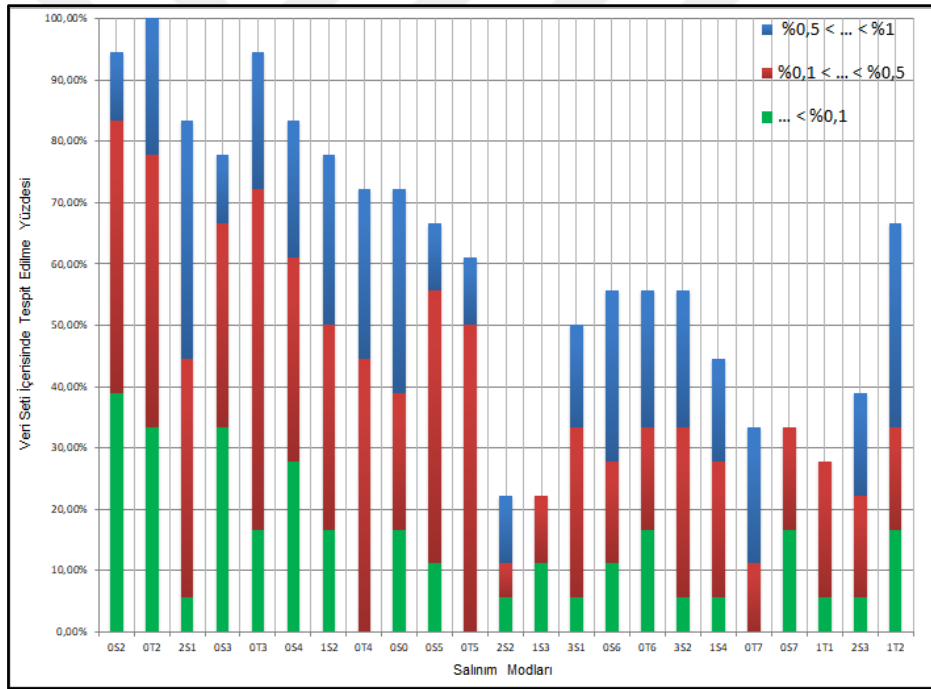
Şekil 22: Ankara İvme Ölçümü 20. Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Grafiği X Bileşeni

Hata miktarları, Çizelge 2'deki teorik frekans değerlerinin göreceli hesaplamasıdır. Çizelge 6'da modların, ölçülen tarih ve ölçüm amacına göre düzenlenmiş sonuç grafiği bulunmaktadır. Her birinin merkezinde sahip olduğu hata oranı yazmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere periyodu yüksek olan sinyallerin daha çok sayıda ve daha düşük hata oranı ile tespit edildiği görülmektedir. Periyot azaldıkça ve frekans buna bağlı olarak arttıkça bu salınımların özilinti grafiklerinde birbirine çok yaklaştıkları fark edilmiştir. Birbirine yaklaşmış olmaları tespitlerini zorlaştırmakta ve birbirine etki etmiş olma ihtimallerini yükseltmektedir. Daha önce de açıklanan bazı modların tek bir noktada sadece bir tepe noktasına sahip olmaması ve teorik olarak daha önce hesaplanan değerlerin bir frekans noktasını belirtmemesi, bir aralığı belirtmesi bu modların %100 doğrulukla tespit edilmesini engellemiştir.

Mod	Manyetik Alan Ölçümü X Bileşeni			İvme Ölçümü X Bileşeni			Manyetik Alan Ölçümü Y Bileşeni			İvme Ölçümü Y Bileşeni			Manyetik Alan Ölçümü Z Bileşeni			İvme Ölçümü Z Bileşeni		
	18.Oca	31.Oca	1.Şub	18.Oca	31.Oca	1.Şub	18.Oca	31.Oca	1.Şub	18.Oca	31.Oca	1.Şub	18.Oca	31.Oca	1.Şub	18.Oca	31.Oca	1.Şub
0S2	0.72	0.48	0.35	-	0.35	0.04	0.14	0.12	0.07	0.26	0.1	0.63	0.1	0.01	0.07	0.29	0.41	0.07
0T2	0.24	0.80	1.00	0.24	0.38	0.62	0.46	0.58	0.39	0.02	0.05	0.02	0.05	0.16	0.16	0.13	0.02	0.01
2S1	0.58	-	0.74	0.70	-	-	0.42	0.38	0.30	0.58	0.58	0.78	0.74	0.38	0.1	0.18	0.14	0.20
0S3	-	-	0.33	0.08	0.05	0.08	0.43	0.26	-	-	0.05	0.05	0.17	0.26	0.64	0.66	0.12	0.08
0T3	0.69	0.50	0.59	-	0.52	0.34	0.03	0.28	0.04	0.12	0.40	0.12	0.51	0.10	0.16	0.18	0.12	0.63
0S4	-	0.01	0.83	-	0.80	0.65	0.03	0.36	0.15	0.16	0.48	0.09	0.35	0.02	-	0.54	0.1	0.15
1S2	-	-	0.37	0.1	0.94	0.85	0.17	0.78	-	0.16	0.78	0.29	0.57	0.23	0.1	-	0.04	0.38
0T4	0.94	-	1.00	0.46	-	-	-	0.38	0.22	0.46	0.60	0.92	0.23	0.38	0.15	0.15	0.61	-
0S0	0.48	0.25	-	-	-	0.98	0.64	-	0.49	0.65	0.57	0.07	0.17	-	0.01	0.57	0.56	0.01
0S5	-	-	-	-	-	0.13	0.03	0.22	0.11	0.19	0.03	0.53	0.61	0.19	0.38	0.11	0.45	-
0T5	0.74	0.16	-	0.74	0.30	-	0.37	0.27	0.46	0.28	-	-	0.46	-	-	0.37	0.37	-
2S2	-	0.74	-	-	0.72	-	-	-	-	-	-	0.16	0.06	-	-	-	-	-
1S3	-	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-	0.02	-	0.06	0.40	-	-	-	-
3S1	-	0.85	-	0.21	0.48	-	-	0.85	0.38	-	-	0.76	0.48	0.08	-	-	-	0.29
0S6	-	0.39	-	-	0.85	-	-	0.22	-	0.29	0.53	-	0.02	0.85	0.95	0.08	0.85	-
0T6	0.09	0.09	0.23	-	-	-	0.55	-	-	0.77	-	-	-	0.02	0.84	0.55	0.12	0.30
3S2	0.95	-	-	0.34	-	0.68	-	0.86	0.64	-	-	0.02	0.42	0.53	-	0.34	0.79	-
1S4	-	-	-	0.27	0.97	-	-	0.08	0.15	0.9	-	-	-	0.54	-	-	0.15	0.38
0T7	0.81	-	-	-	0.89	-	0.89	-	0.16	-	0.32	-	-	-	-	-	-	0.53
0S7	-	-	0.37	-	0.04	-	-	-	-	0.07	-	0.32	0.32	-	-	-	0.04	-
1T1	-	-	0.04	-	0.37	-	0.12	0.24	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
2S3	0.92	-	-	0.68	-	0.99	-	-	-	-	0.68	0.3	-	-	-	0.18	0.06	-
1T2	0.06	0.99	-	-	-	-	0.99	0.06	0.06	-	0.99	0.19	0.33	0.59	0.33	-	0.72	0.59

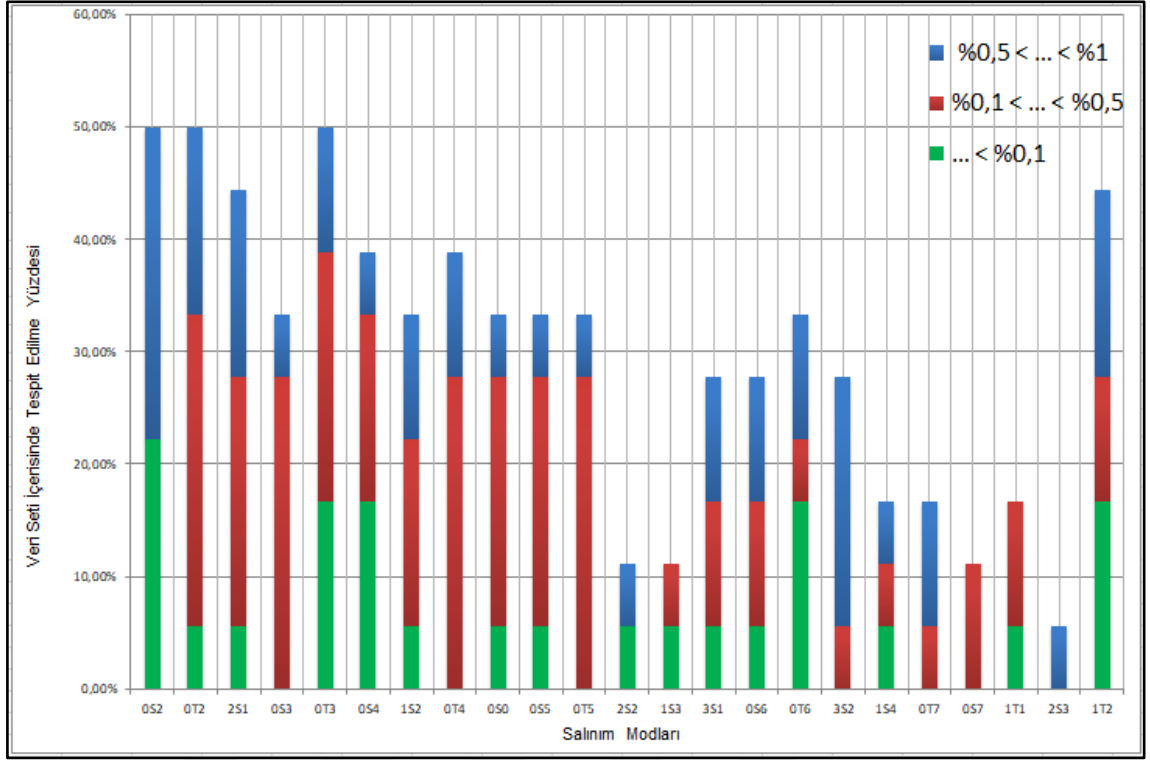
Çizelge 6: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Detaylı Görünüm Çizelgesi

Bu sonuçlar Şekil 23'te ise grafik haline getirilmiştir. Şekil 23, Çizelge 6'nın bir başka şekilde yorumlanmış halidir. Mavi sütunlar %1'lik hatayı, kırmızı sütunlar %0,5'lik hatayı, yeşil sütunlar ise %0,1'lik hatayı temsil etmektedir. Grafik soldan sağa ilerledikçe özilinti başarı grafiği düşmektedir. Bunun nedeni, periyodu diğer modlara göre yüksek olan sinyallerin genliğinin de yüksek olmasıdır. Genliği yüksek olan sinyallerin tespit edilmesi diğerlerine göre daha kolaydır. ${}_0S_2$, ${}_0T_2$ ve ${}_0S_4$ modlarında yüksek oranda özilinti yüzdesi bulunmuştur. Daha fazla sayıda, hata oranı %0,1'den küçük olan modlar sırası ile ${}_0S_2$, ${}_0T_2$, ${}_0S_3$, ${}_0T_3$, ${}_0S_4$, ${}_1S_2$, ${}_0S_0$, ${}_0T_6$, ${}_0S_7$ ve ${}_1T_2$ 'dir. Burada tespit edilen salınımlar yerkürenin serbest titreşim frekanslarıdır. Bu frekanslar mekanik kökenlidir. Çizelge 6'daki sonuçlara göre, manyetik alan ölçerle tespit edilen sinyallerin ivmeölçerle de tespit edilmesi tezin ileri ki bölümlerinde tekrar değinilecek bir durumdur.

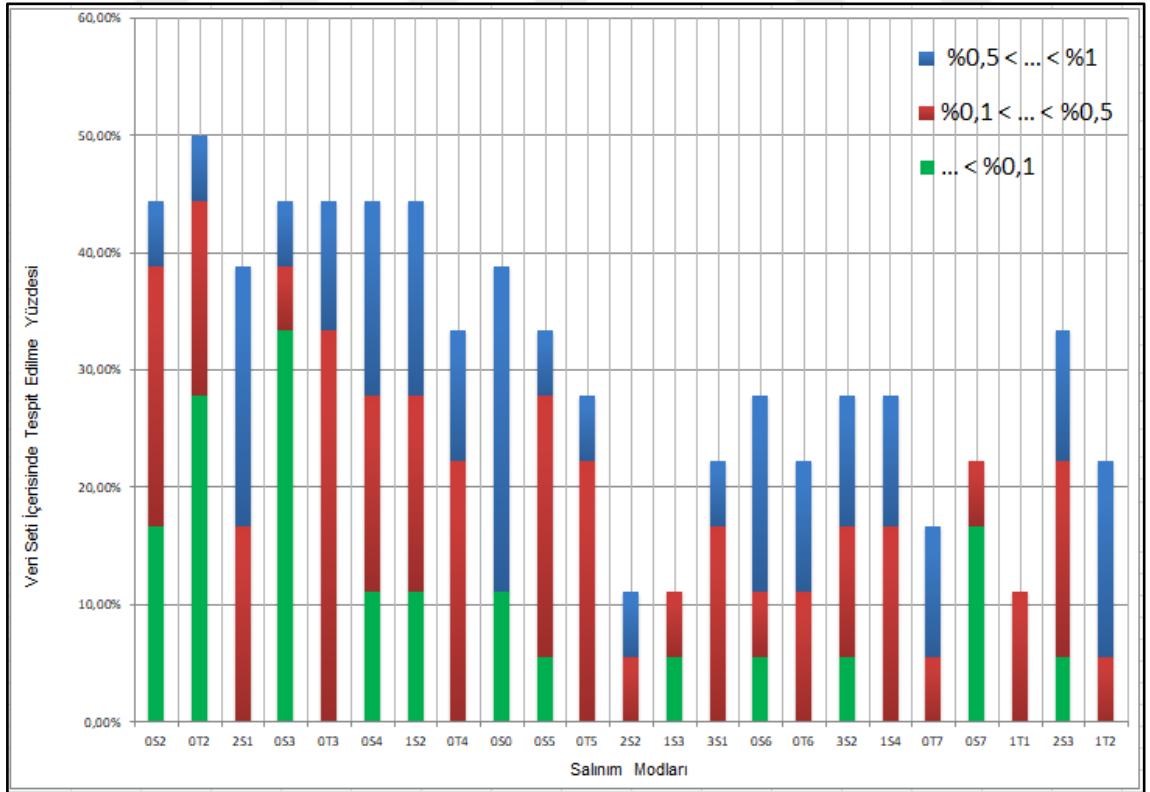


Şekil 23: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği

Şekil 23'te verilen grafiğin manyetik alan ölçümünü Şekil 24'te, ivme ölçüm sonucunu ise Şekil 25'te görülmektedir. Bu benzerlik ile yerkürenin serbest titreşim modları, manyetik alan ölçümlerinde de görülebilmektedir. Bu benzerlik ile yerkürenin serbest titreşim modları, manyetik alan ölçümlerinde de görülebilmektedir.



Şekil 24: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği - (Manyetik Ölçüm Sonuçları)



Şekil 25: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü 20.Derece Nümerik Türev Sonrası Özilinti Sonuçları Grafiği - (İvme Ölçüm Sonuçları)

4.3 ULF Sinyallerinin Güç Spektral Yoğunlukları

Tezin bu bölümünde çalışma biraz daha genişletilecek, yöntem biraz daha değişecek ve manyetik gözlemlerinden alınan verileri de kullanılarak tekrar bir yorumlama yapılacaktır.

4.3.1 Güç Spektral Yoğunluğu Yönteminin Uygulanışı

Daha önce türevi alınan Ankara'da ölçülmüş sinyallerin özilintisi alınarak sonuca varılmaya çalışılmıştır. Tezin bu kısmında ilk aşamada verinin boyutu 24 saatten 72 saate çıkarılmıştır. Böylece ölçüm aralığı genişletilmiştir. Yabancı kaynaklardan 24 saatlik veriler temin edilmiş ve bu ardışık veriler birleştirilerek 72 saate çevrilmiştir. Daha sonra verilerin ortalaması hesaplanmıştır. Bulunan ortalama esas (ölçülen öz) sinyalden çıkarılmış ve bir çeşit normalleştirme yapılmıştır. Standart sapmanın sinyallere etkisi araştırılmış ve sonuca çok fazla etki etmediği, sadece sinyallerin genliğini bir miktar değiştirdiği tespit edilmiştir. Ortalaması kendisinden çıkartılan sinyallerin özilintisi alınmıştır. Elde edilen yabancı istasyonlara ait ortalaması çıkarılmış sinyallere, daha sonra çapraz ilinti uygulanmıştır. Elde edilen sinyallere Fourier dönüşümü uygulanarak, zaman ekseninden frekans eksenine geçiş yapması sağlanmıştır.

4.3.2 Güç Spektral Yoğunluğu (GSY) ve Özilinti Arasındaki İlişki

Özilinti, iki sinyal arasında ilişki olup olmadığını belirler. Ne kadar yüksek çıkarsa bu sinyaller o kadar bağlantılıdır. WSS sıfır ortalamalı bir sinyalin özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümü güç spektral yoğunluğunu vermektedir. Bir sinyalin güç spektral yoğunluğu ise bu sinyalin frekans aralıklarındaki enerji dağılımını vermektedir. Sinyali karakterize etmede önemli bir rol oynamaktadır.

Sıfır ortalamalı iki sinyalin özilintisi bu sinyallerin çarpımının ortalamasıdır. τ simgesi zamanda ki gecikmeyi göstermektedir.

$$R_{xx}(\tau) = E[x(t) x(t + \tau)] \quad (16)$$

Özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümü ilk aşamada bu eşitlik ile tanımlanır.

$$R_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (17)$$

Bu son hali de güç spektral yoğunluğuna eşittir [50].

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (18)$$

Aynı eşitlik yapısı ile çapraz ilinti durumu da elde edilebilmektedir.

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xy}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (19)$$

Kesikli zamanda güç spektral yoğunluğu ve çapraz spektral yoğunluğu

$$S_{xx}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} R_{xx}[n] e^{-i\omega n} \quad (20)$$

$$S_{yy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} R_{yy}[n] e^{-i\omega n} \quad (21)$$

$$S_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} R_{xy}[n] e^{-i\omega n} \quad (22)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Bu gösterimler sonucunda bir sinyalin özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümü güç spektral yoğunluğunu vermektedir. Bu çıkarımın daha detaylı açıklaması ekler bölümünde gösterilmiştir.

4.3.3 Tutarlılık Fonksiyonu

Güç spektrumlarında ve çapraz spektrumdan yararlanılarak iki sinyal arasındaki tutarlılık fonksiyonu

$$C_{xy}(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega)S_{yy}(\omega)} \quad (23)$$

eşitliği ile tanımlanır. Belirli bir ω_* frekansında tutarlılık fonksiyonunun maksimum olduğu durumda

$$\omega = \underset{\omega}{\operatorname{argmax}} C_{xy}(\omega) \quad (24)$$

her iki sinyalde ω_k frekansında ortak bir bileşen olduğu sonucuna varılır.

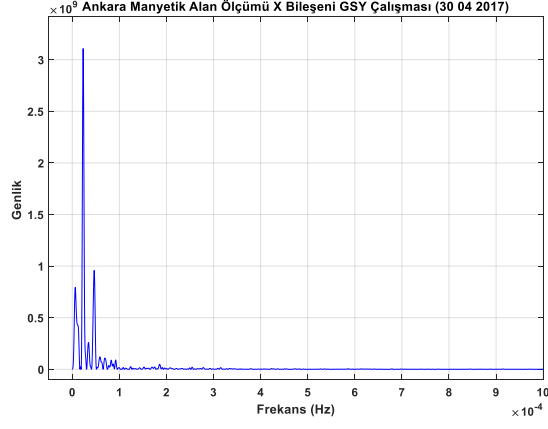
4.3.4 Güç Spektral Yoğunluğu ile Periyodik ULF Sinyallerinin Tespiti

30 Nisan 2017 tarihinde kaydedilen 72 saatlik üç bileşen verisi ve gözlemlerinden alınan 3 istasyonun 3 bileşen verileri, özilinti ve çapraz ilinti olarak X, Y, Z bileşenlerinde değerlendirilmiştir. Tezin bu aşamasından sonra aşağıda sıralanan 24 adet veri setleri kullanılmıştır.

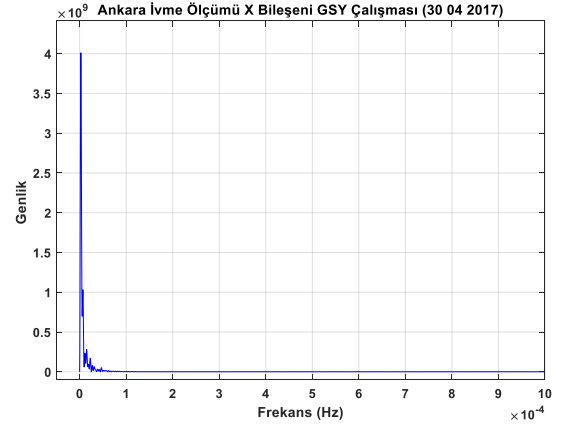
- 30 Nisan 2017 manyetik alan verisinin güç spektral yoğunluğu
- 30 Nisan 2017 ivme verisinin güç spektral yoğunluğu
- 30 Nisan 2017 manyetik alan ve ivme verisinin çapraz güç spektral yoğunluğu
- Gözlemlerinden alınan manyetik alan verilerinin çapraz güç spektral yoğunluğu

İlk önce güç spektral yoğunluğu çalışmalarının örnekleri gösterilecektir. Şekil 26'da Ankara'da yapılan 72 saat süren ölçüm çalışmalarının örnekleri bulunmaktadır. Şekillerde de görüldüğü gibi güç spektral yoğunluğu daha çok 0 Hz yakınlarına doğru genlik kazanmıştır. Sinyallerin Şekil 18'de görüldüğü gibi sabit (DC) bir sinyale benzemesinden dolayı frekans beklentisinin 0 Hz yakınlarında olması doğaldır.

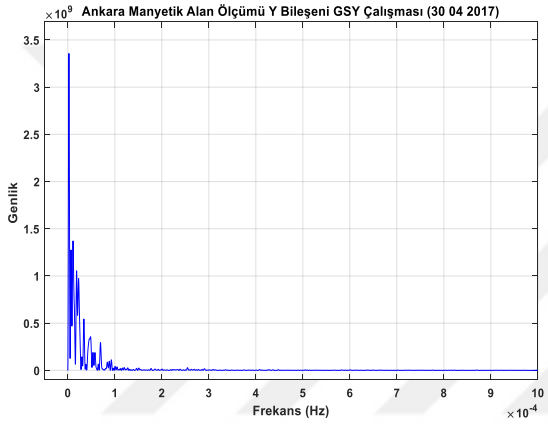
Şekil 19'daki gibi sinyale yaklaşıncı görülen hareketlenmeler, güç spektral yoğunluğunun 0 Hz yakınlarında tepe noktaları oluşturmasını sağlamıştır. İlerleyen safhalarda bu tepe noktalarının ölçümleri ve sonuçları anlatılacaktır. Şekil 27(a)'da üç manyetik alan ölçüm bileşeninin de birlikte verildiği güç spektral yoğunluğu grafiği vardır. İşaretlenen bölgelerde çok açık bir şekilde ilişki olduğu gözükmemektedir. 3 bileşende de neredeyse aynı noktalarda özilinti bulunmaktadır. Aynı grafikte genlikten dolayı şuan işaretlenememiş fakat ilinti bulunan daha birçok nokta bulunmaktadır. A bölgesinde Y ve Z bileşenlerinde, B, C, D, E, F bölgelerinde ise X, Y ve Z bileşenlerinde yüksek benzerlikler bulunmaktadır. Şekil 27(b)'de Ankara'da yapılan ivme ölçümünün üç bileşeninin üst üste çizdirildiği grafik bulunmaktadır. A, B, C, D, E, F bölgelerinde üç bileşende de yüksek benzerlikler bulunmaktadır. Bu şekillerde dikkat edilecek husus, çevresine göre belirgin bir şekilde tepe noktası yapmış sinyalin frekans ekseninde hangi frekansa karşılık geldiğidir.



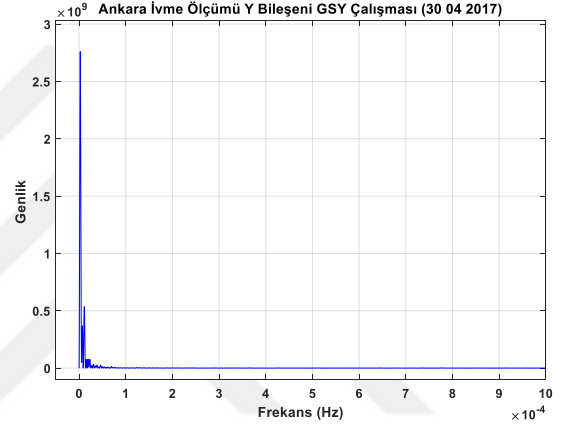
(a)



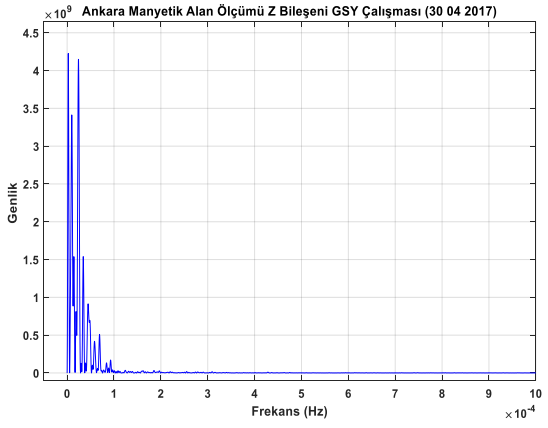
(b)



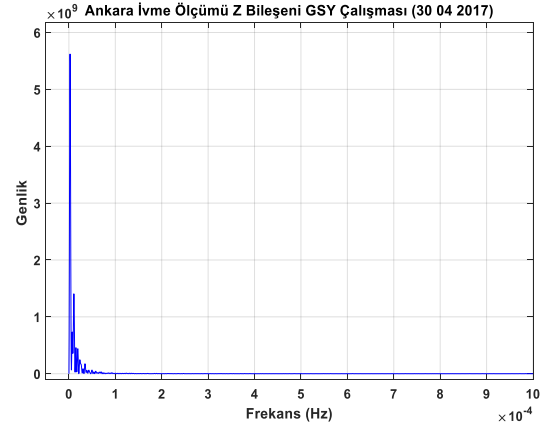
(c)



(d)

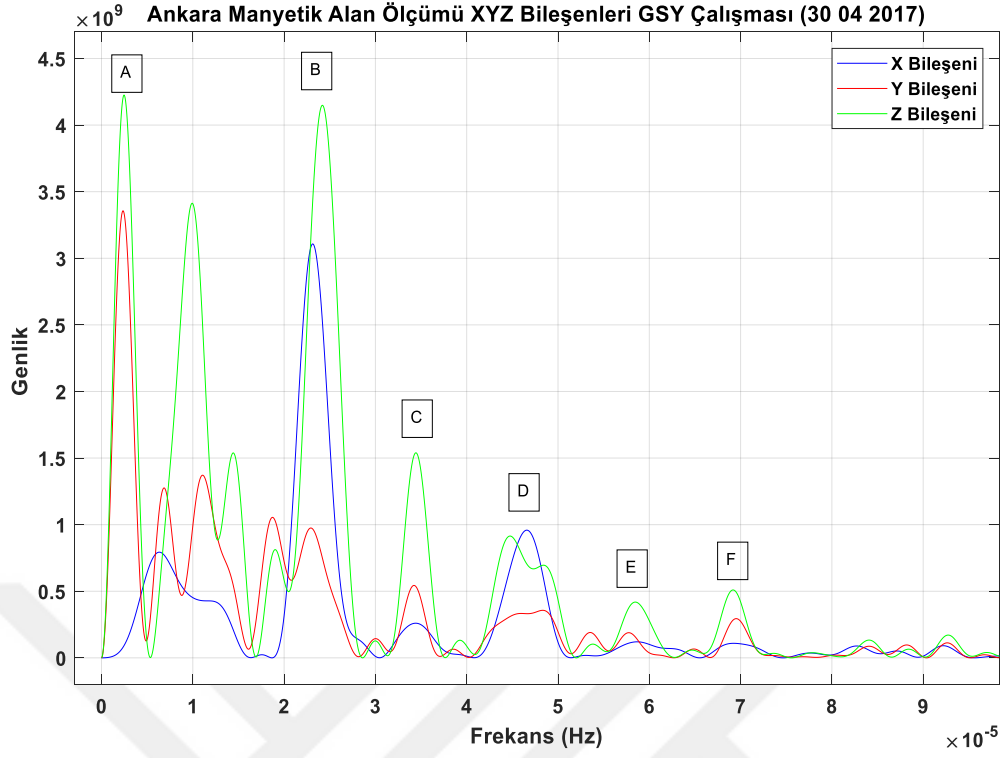


(e)

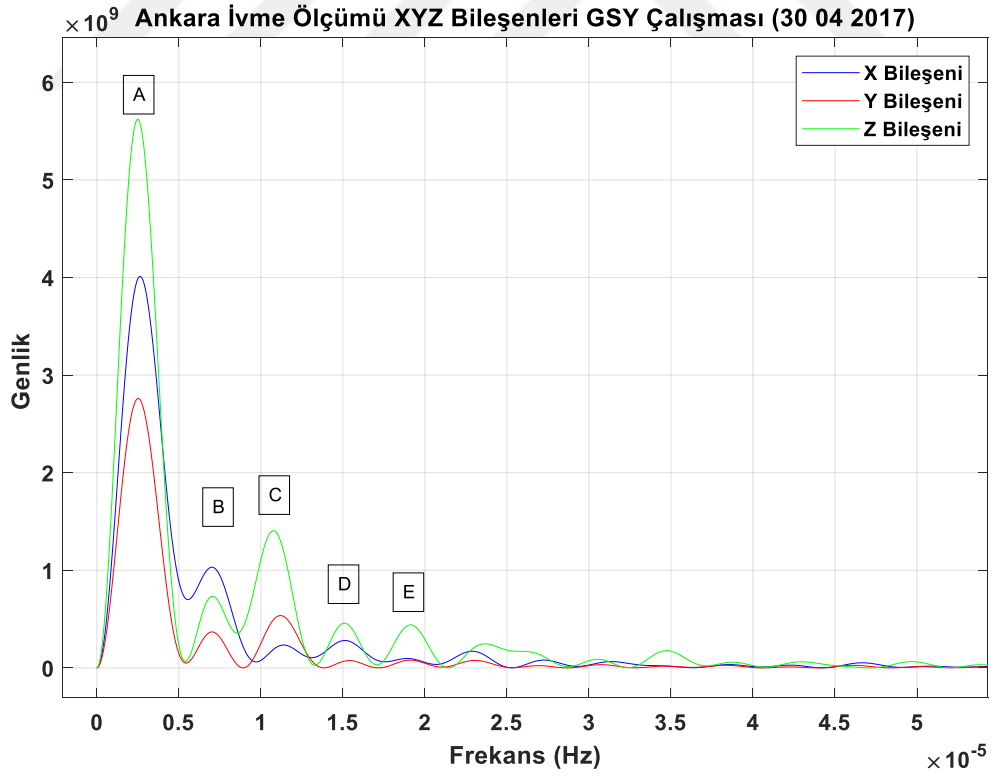


(f)

Şekil 26: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri GSY-1



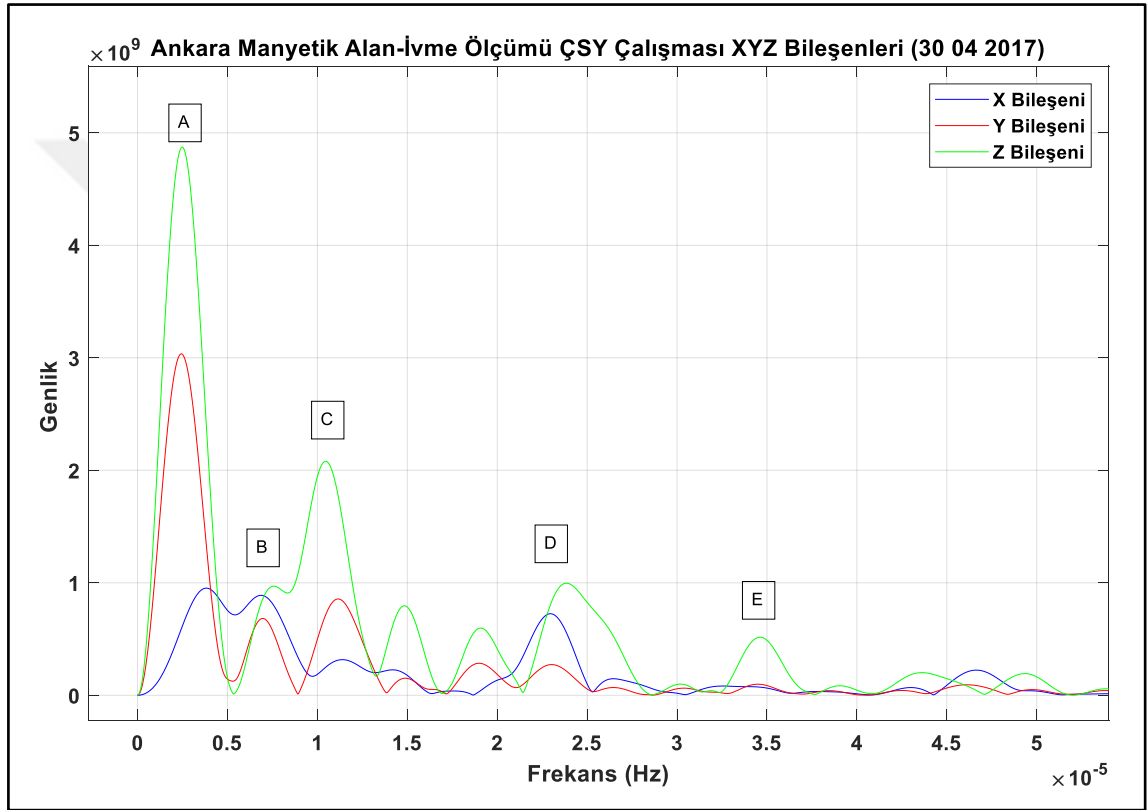
(a)



(b)

Şekil 27: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri GSY-2

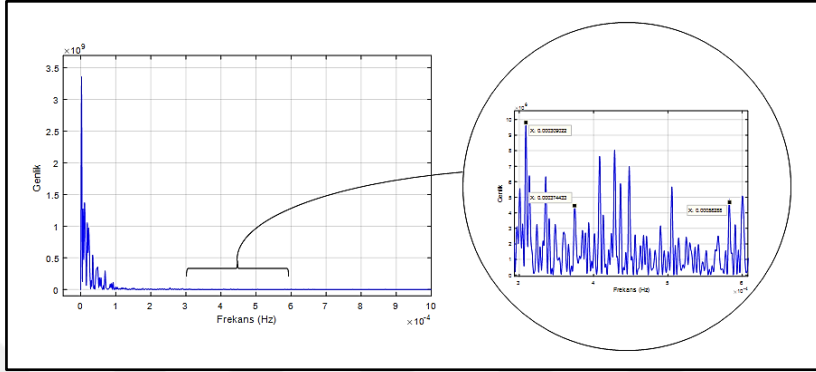
Şekil 28’de ise Ankara’da ölçümü yapılan manyetik alan ve ivme testi sonuçlarının kendi içerisinde çapraz ilinti grafikleri mevcuttur. Mavi ile belirtilmiş olan sinyal, X bileşenindeki manyetik alan ile aynı bileşendeki ivmeölçerden gelen ivme verisinin çapraz ilinti sonrası güç spektral yoğunluğu grafiğidir. Aynı şekilde kırmızı Y bileşenini, yeşil ise Z bileşenini belirtmektedir. A bölgesinde Y ve Z bileşenlerinin çapraz ilintisinin; B, C, D ve E bölgelerinde ise X,Y ve Z bileşenlerinin çapraz ilintisinin yüksek olduğu görülmektedir.



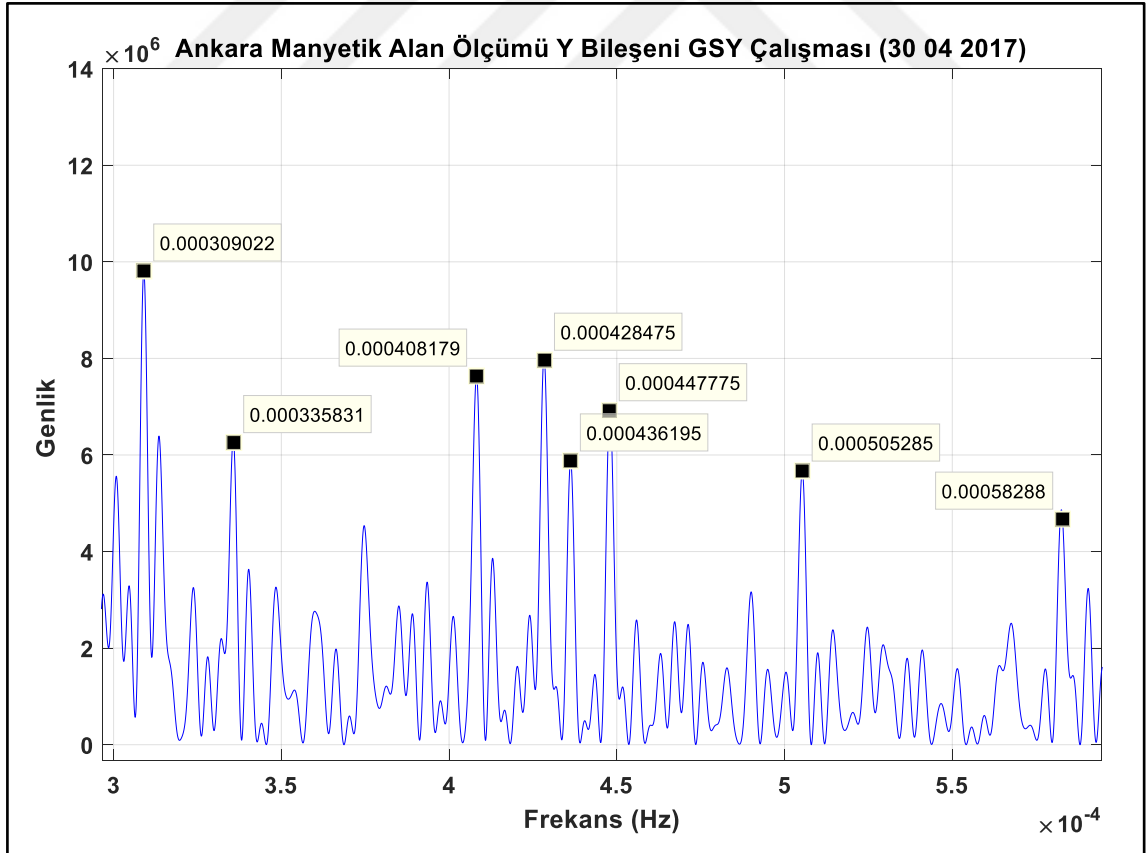
Şekil 28: Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü ÇSY Grafiği XYZ Bileşenleri

Şekil 29’da grafiğe en yüksek genlikten bakıldığında düz şekilde görülen alanların, genlik azaltıldığında nasıl bir duruma dönüştüğünün gösterimi vardır. Şekil 30’da Ankara manyetik alan ölçümünün Y bileşenindeki güç spektral yoğunluğu grafiği bulunmaktadır. 0,000309022 Hz frekans noktası 3236 saniye olmakta bu ise 53,93 dakikaya denk gelmektedir. Diğer kaynaklardan temin edilen, daha önce yapılan ölçüm sonuçları ile kıyaslırsak bu nokta $0S_2$ salınım moduna eşlenmektedir. 0,000374433 Hz frekans noktası ise 44,51 dakika ile $0T_2$ moduna, 0,00058288 Hz

noktası ise 28,59 dakika ile $0T_3$ moduna eşlenmektedir. Bu sonuçlara ek olarak 0,000335831 Hz (49,62 dakika), 0,000408179 Hz (40,83 dakika), 0,000428475 Hz (38,89 dakika), 0,000436195 Hz (38,20 dakika), 0,000447775 Hz (37,22 dakika) ve 0,000505285 Hz (32,98 dakika) frekans noktaları da tespit edilmiş fakat değerlendirme aralığımızdaki modlara yakınlığı bulunamamıştır.

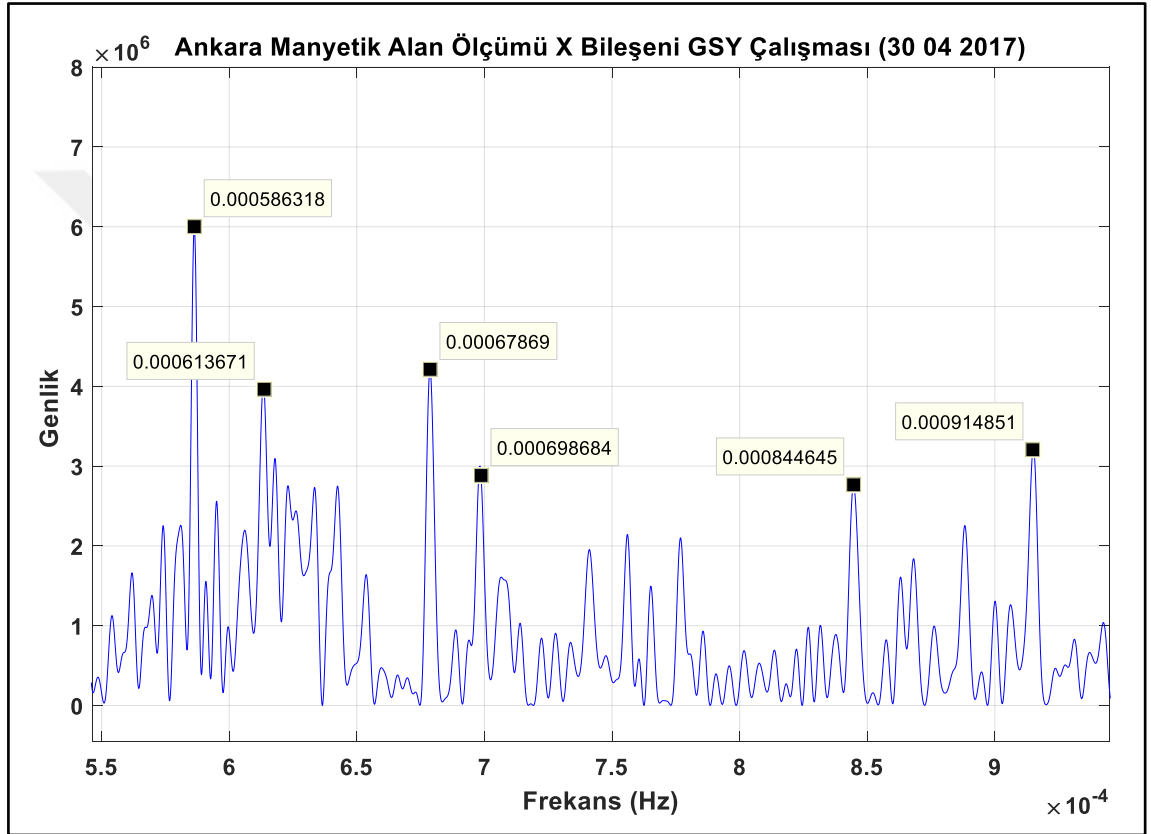


Şekil 29: Genlik Miktarının Grafıklara Gözlem Etkisi



Şekil 30: Ankara Manyetik Alan Ölçümü Y Bileşeni GSY Çalışması

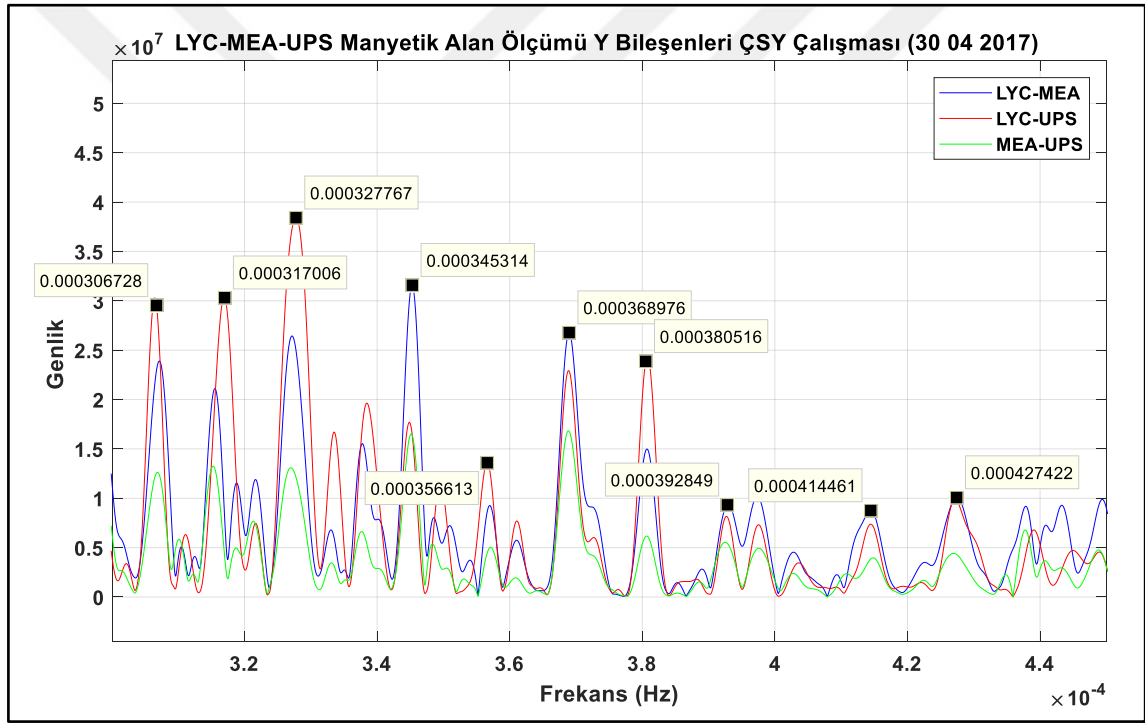
Şekil 31’de Ankara manyetik alan ölçümünün X bileşenindeki güç spektral yoğunluğu grafiği bulunmaktadır. 0,000586318 Hz frekans noktası 28,42 dakika ile ${}_0T_3$ moduna eşlenmektedir. 0,00067869 Hz noktası 24.55 dakika ile ${}_1S_2$ moduna, 0,000844645 Hz noktası ise 19,73 dakika ile ${}_0S_5$ moduna eşlenmektedir. Bu sonuçlara ek olarak 0,000613671 Hz (27,15 dakika), 0,000698684 Hz (23,85 dakika) ve 0,000914851 Hz (18,21 dakika) frekans noktaları da tespit edilmiş fakat değerlendirme aralığımızda ki modlara yakınlığı bulunamamıştır.



Şekil 31: Ankara Manyetik Alan Ölçümü X Bileşeni GSY

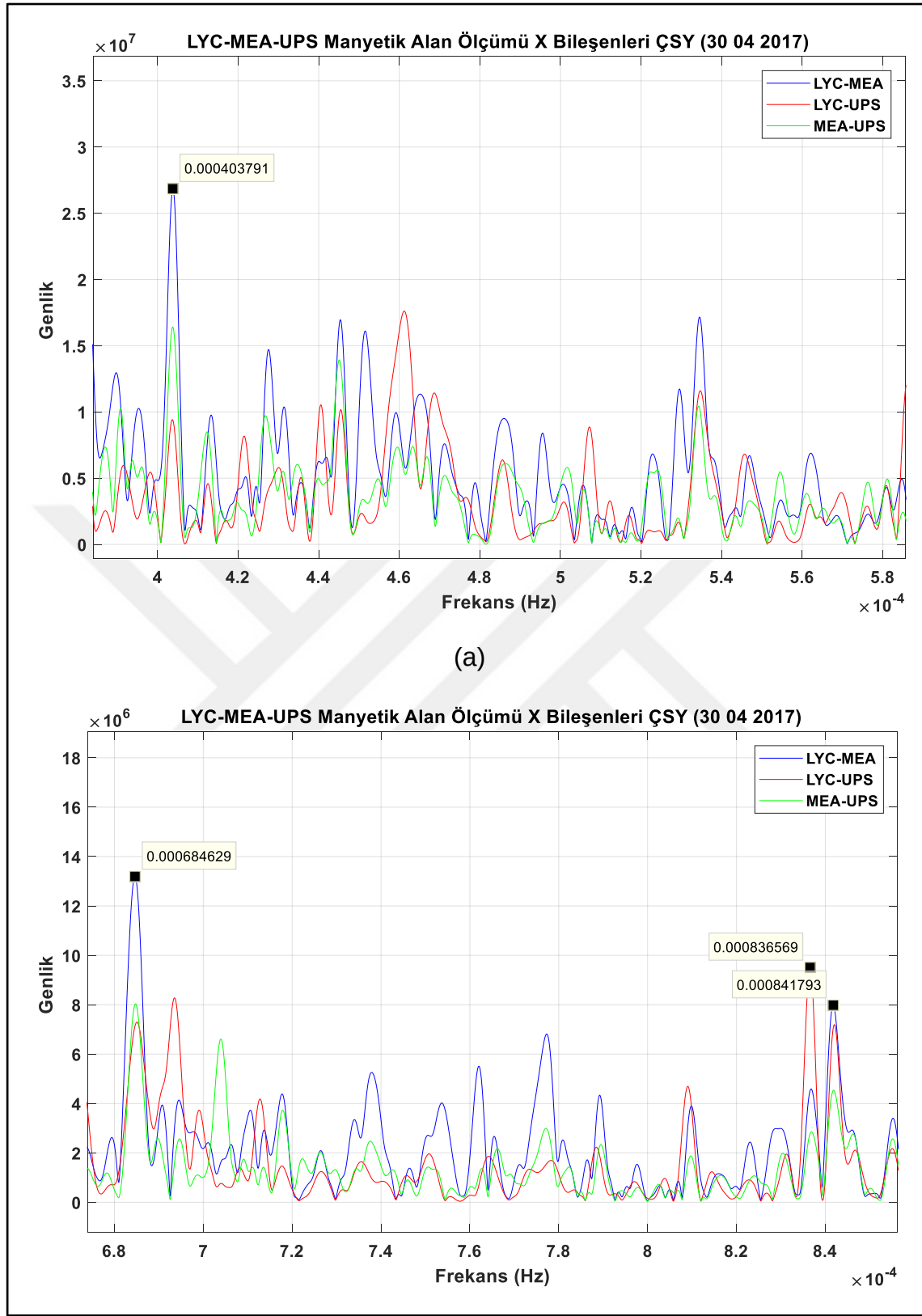
Tez çalışmasına Ankara’da yapılan testlere ek olarak uluslararası istasyonlardan alınan veriler de eklenmiştir. 72 saat süren ve 30 Nisan 2017 tarihinde başlayan verilere aynı şekilde çapraz ilinti uygulanmış ve sonucunda bu sinyallerin güç spektral yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu istasyonların sadece manyetik alan verilerine ulaşılabildiğinden deneysel hesaplamalar sadece manyetik alan sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Şekil 32’de Y bileşeninde çapraz ilintilerinin güç spektral yoğunlukları hesaplanan istasyonlar görülmektedir. Üç istasyon sırası ile LYC-MEA, LYC-UPS ve MEA-UPS olarak çapraz bir şekilde değerlendirilmiştir.

Aralarında açık bir şekilde ilişki olduğu görülen istasyonların önemli olarak görülen tepe noktaları işaretlenmiştir. Bu noktalardan 0,000306728 Hz frekans noktası 54,33 dakika ile ${}_0S_2$ moduna, 0,000380516 Hz frekans noktası ise 43,80 dakika ile ${}_0T_2$ moduna işaret etmektedir. Bu sonuçlara ek olarak 0,000317006 Hz (57,52 dakika), 0,000327767 Hz (50,84 dakika), 0,000345314 Hz (48,26 dakika), 0,000356613 (46,73 dakika), 0,000368976 Hz (45,17 dakika), 0,000392849 Hz (42,42 dakika), 0,000414461 Hz (40,21 dakika), 0,000427422 Hz (38,99 dakika) frekans noktaları da tespit edilmiş fakat değerlendirme aralığımızda ki modlara yakınlığı bulunamamıştır. Şekil 32’de 3 çapraz ilinti grafiğinin en az 10 noktada büyük benzerlik gösterdiği açıkça görülmektedir.



Şekil 32: Gözlemvleri Kaynaklı Manyetik Alan Ölçümü Y Bileşenleri ÇSY

Şekil 33(a)’daysa X bileşenine ait üç istasyonun çapraz ilinti grafiği bulunmaktadır. 0,000403756 Hz frekans noktası 41,27 dakika ile ${}_2S_1$ moduna denk gelmektedir. Üç istasyonun çapraz ilinti durumu da bu noktada güzel bir şekilde ortaya çıkmış ve çok düşük bir hatayla üst üste hizalanmışlardır. Aynı X bileşeninin devamında Şekil 33(b)’de 0,000684629 Hz frekans noktası 24,33 dakika ile ${}_1S_2$ moduna, 0,000836569 Hz frekans noktası ise 21,76 dakika ile ${}_0T_4$ moduna denk gelmektedir. Aynı şekilde 3 bileşende de %1’den düşük hata durumuyla bu modlar gözlemlenmiştir.



Şekil 33: Gözlemleri Kaynaklı Manyetik Alan Ölçümü X Bileşenleri ÇSY

Mod	OS2	OT2	2S1	OS3	OT3	OS4	1S2	OT4	OS0	OS5	OT5	2S2	1S3	3S1	OS6	OT6	3S2	1S4	OT7	OS7	1T1	2S3	1T2
Periyot (dk)	53,85	44,2	41,35	35,6	28,38	25,75	24,5	21,75	20,47	19,83	17,95	17,78	17,75	17,67	16,05	15,45	15,07	14,22	13,65	13,53	13,48	13,42	12,62
Özillinti																							
Mx - Mx	0,83%				0,15%		0,23%			0,51%							0,51%						
My - My	0,16%	0,71%			0,57%	0,34%			0,14%	0,25%						0,19%							0,13%
Mz - Mz	0,07%		0,52%						0,94%		0,19%	0,84%	0,93%				0,41%	0,79%					
Ax - Ax											0,14%	0,37%	0,47%	0,94%	0,27%		0,95%		0,49%	0,37%	0,02%	0,22%	
Av - Av							0,13%		0,61%						0,42%	0,86%							
Az - Az		0,45%						0,31%											0,42%	0,38%	0,01%	0,49%	
Çapraz İllinti																							
Mx - Ax				0,56%			0,03%	0,04%		0,66%	0,19%	0,84%	0,93%		0,14%		0,97%						
My - Ay					0,74%		0,13%		0,83%						0,90%		0,67%						
Mz - Az	0,15%	0,21%	0,54%					0,21%	0,83%								0,33%	0,05%	0,32%				
Mx - Ay					0,30%	0,92%	0,13%								0,49%	0,85%	0,54%						
Mx - Az		0,51%			0,04%					0,65%						0,85%							
My - Ax		0,74%		0,69%	0,57%	0,42%		0,21%	0,18%		0,60%	0,42%	0,52%	0,99%	0,33%				0,50%	0,34%	0,03%	0,27%	
My - Az	0,15%	0,71%		0,23%				0,25%	0,96%						0,19%				0,30%	0,07%	0,56%	0,12%	
Mz - Ax			0,40%					0,14%	0,94%		0,19%	0,84%	0,93%		0,28%			0,06%	0,53%	0,33%	0,70%		
Mz - Ay				0,96%			0,13%		1,00%						0,45%		0,16%						
LYCX - MEAX																							
LYCY - MEAY	0,76%			0,20%		0,85%	0,85%	0,67%	0,56%	0,17%	0,52%	0,51%	0,60%							0,90%	0,54%	0,05%	
LYCz - MEAz					0,71%		0,33%	0,61%	0,82%	0,34%	0,14%	0,59%	0,69%						0,52%				0,85%
LYCX - UPSx		0,76%		0,90%	0,18%	0,81%	0,67%		0,64%	0,21%	0,76%	0,26%	0,36%	0,83%		0,35%							
LYCY - UPSy	0,94%	0,98%				0,29%	0,63%	0,67%											0,47%				0,70%
LYCz - UPSz		0,78%				0,23%		0,01%										0,55%	0,37%				0,90%
MEAX - UPSx			0,17%				0,67%			0,18%	0,76%	0,26%	0,36%	0,83%	0,98%								0,90%
MEAY - UPSy	0,90%						0,30%	0,67%	0,82%		0,45%								0,55%				0,90%
MEAz - UPSz			0,24%	0,28%	0,85%	0,44%					0,48%	0,52%	0,42%	0,04%		0,68%	0,07%	0,54%	0,69%	0,93%	0,36%	0,07%	0,88%

Çizelge 7: Manyetik Alan ve İvme Ölçümü Güç Spektrum ve Çapraz Spektrum Genel Sonuç Çizelgesi

Çizelge 7'de güç spektral yoğunluğu ve çapraz spektral yoğunluğu genel sonuç çizelgesi bulunmaktadır. Sonuçlar frekans modlarına göre incelenmiş ve gözlemlerimiz maddeler halinde yazılmıştır.

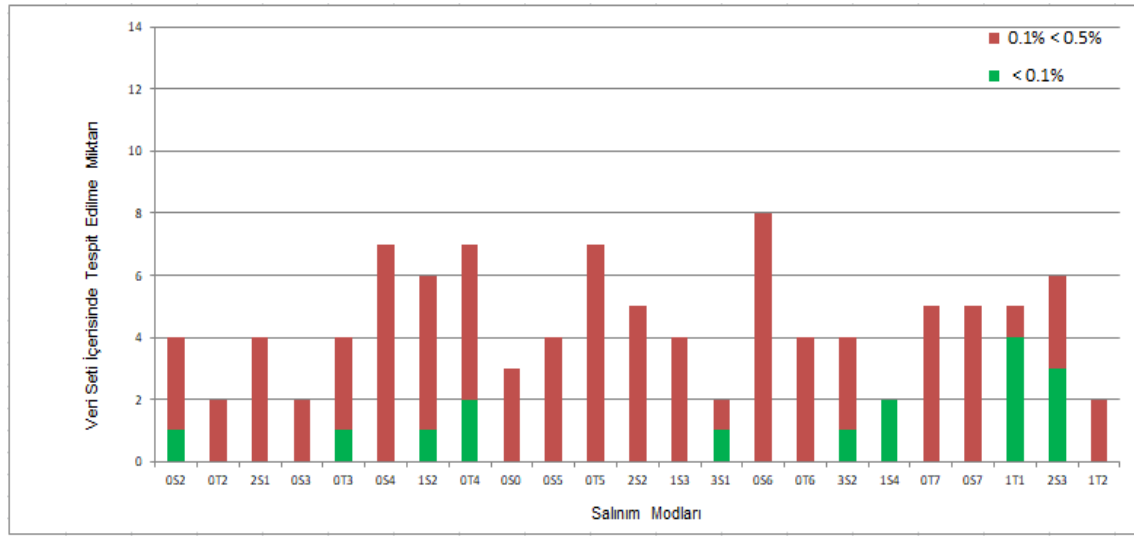
- ${}_0S_2$ (53,86 dk) modunun özilinti sonuçlarında manyetik alan Y ve Z bileşenlerinde düşük hatalar ile tespit edildiği görülmektedir. Gözlemelerinden alınan ölçümlerin çapraz ilinti sonuçlarında Y bileşenlerinde ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.
- ${}_0T_2$ (44,17 dk) modunun özilinti sonuçlarında manyetik alan X ve Y bileşenlerinde titreşim ölçüm sonucunda ise Z bileşeninde ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Titreşim ölçümleri çapraz ilinti sonuçlarında Z bileşenindeki bütün ölçümlerde tespit edilmiştir. Gözlemelerinden alınan ölçümlerin çapraz ilintilerine bakıldığında LYC ile MEA istasyonlarının bütün çapraz ilintilerinde ilişki bulunmaktadır.
- ${}_2S_1$ (41,26 dk) modu genellikle Z bileşeninde tespit edilmiştir. Manyetik alan özilinti sonuçlarında Z bileşeninde, çapraz ilintilerinin manyetik alan Z bileşeni ile titreşim ölçümü X ve Z bileşenlerinin çapraz ilintilerinde ve gözlemelerinden alınan ölçümlerin MEA ile UPS istasyonlarının çapraz ilintilerinin Z bileşeninde tespit edilmiştir.
- ${}_0T_3$ (28,36 dk) modu çoğunluğu X bileşeni olmakla birlikte, X ve Y bileşenlerinde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçlarında manyetik alan X ve Y bileşenlerinde, çapraz ilinti sonuçlarında ise X ve Y bileşenlerinin birbiri ile ilintilerinde tespit edilmiştir. Gözlemelerinden alınan ölçümlerde ise LYC istasyonunun çapraz ilintilerinin X bileşenlerinde tespit edilmiştir.
- ${}_0S_4$ (25,77 dk) modu genellikle gözlemelerinden alınan ölçümlerin çapraz ilintilerinde tespit edildi. Bunlara ek olarak Y bileşenlerinde de tespit edildi.
- ${}_1S_2$ (24,51 dk) modu genellikle X ve Y bileşenlerinde tespit edilmiştir. Gözlemelerinden alınan ölçümlerin çapraz ilintilerinin X ve Y bileşenlerinin bütününde tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak özilinti sonuçlarında manyetik alan X bileşeni ile titreşim ölçümü Y bileşeninde de tespit edilmiştir. X ve Y bileşenlerinin birbiri ile çapraz ilinti sonuçlarında da birçok defa tespit edilmiştir.
- ${}_0T_4$ (21,73 dk) modu genellikle Y bileşenlerinde tespit edilmiştir. Titreşim ölçümlerinin X bileşeninde çapraz ilinti sonuçlarının bütününde

bulunmuştur. Gözlemlerinden alınan ölçümlerde ise Y bileşenindeki çapraz ilintilerinin hepsinde ve LYC istasyonunun bütün çapraz ilintilerinde tespit edilmiştir.

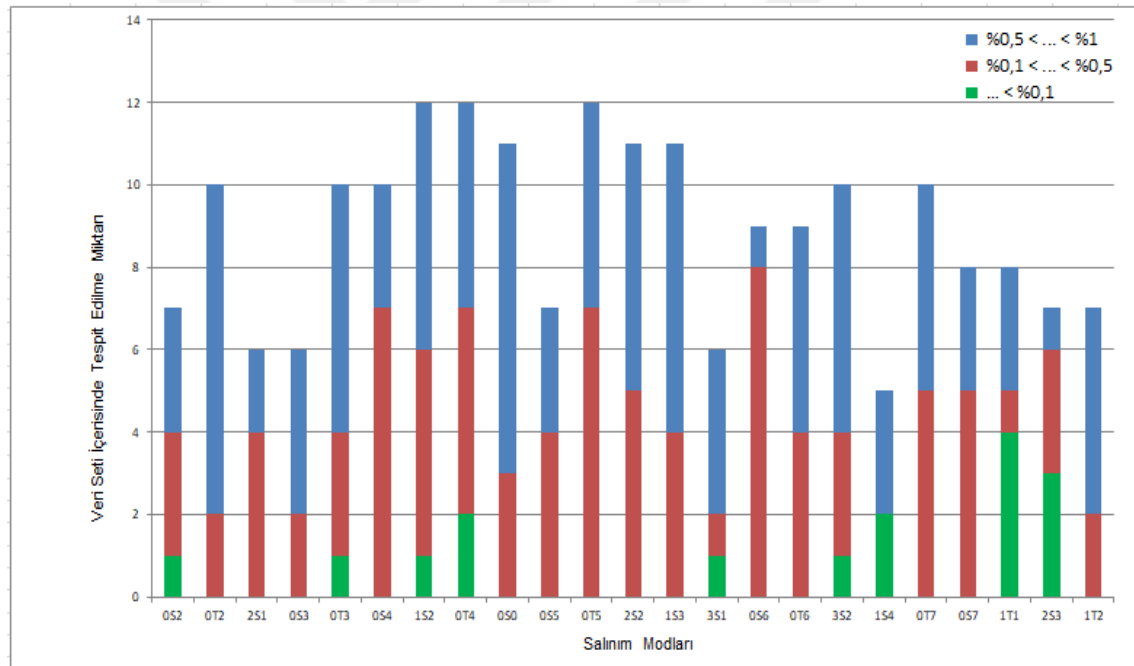
- ${}_0S_0$ (20,47 dk) modu genellikle Y ve Z bileşenlerinde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçlarında manyetik alan Y ve Z bileşenlerinde, titreşim ölçümlerinde ise Y bileşeninde tespit edilmiştir. Y ve Z bileşenlerinin neredeyse bütün çapraz ilintilerinde gözlemlenmiştir.
- ${}_0S_5$ (19,84 dk) modu genellikle X bileşeninde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçlarında manyetik alan X ve Y bileşeninde, çapraz ilinti sonuçlarında ise manyetik alan X bileşeninde 2 defa tespit edilmiştir. Gözlemlerinden alınan ölçümlerde ise çapraz ilintilerinin sadece X bileşenlerinde tespit edilmiştir.
- ${}_0T_5$ (17,95 dk) modu genellikle titreşim ölçümlerinin X bileşenlerinde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçlarının titreşim ölçümlerinde X bileşeninde, çapraz ilinti sonuçları titreşim ölçümlerinin X bileşenlerinin bütününde de tespit edilmiştir. Gözlemlerinden alınan ölçümlerde ise X bileşenlerinin bütününde görülmüştür.
- ${}_0T_5$, ${}_2S_2$, ${}_1S_3$, ${}_3S_1$ modlarının periyot aralıkları birbirine çok yakın olduklarından bulunan sinyallerin ayrıştırılması zor olmaktadır. Tespit edilen sinyaller, hata oranı ile sınıflandırıldıklarında mod olarak bu dört frekanstan bir kaçına uymaktadırlar.
- ${}_0S_6$ (16,06 dk) modu genellikle titreşim ölçümlerinde tespit edilmiştir. Özilinti titreşim ölçümleri sonuçlarında X ve Y bileşenlerinde, çapraz ilinti sonuçları titreşim ölçümleri X ve Y ilişkilerinin neredeyse hepsinde tespit edilmiştir. Titreşim ölçümlerinin X bileşeninin bütün ölçüm bileşenlerinde tespit edilmiştir.
- ${}_0T_6$ (15,45 dk) modu genellikle Y bileşeninde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçlarında Y bileşenlerinde, çapraz ilinti sonuçlarında ağırlıklı olarak X ve Y eksenlerinde tespit edilmiştir.
- ${}_3S_2$ (15,07 dk) modu aynı bileşenli çapraz ilintilerinin bütününde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçları manyetik alan ölçümünde ise X ve Z bileşenlerinde, titreşim ölçümlerinde ise sadece X bileşeninde tespit edilmiştir. Çapraz ilinti titreşim ölçümlerinin Y bileşenlerinin bütün ölçümlerinde görülmüştür.

- ${}_1S_4$ (14,21 dk) modu genellikle Z bileşeninde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçları manyetik alan ölçümleri Z bileşeninde ve çarpaz ilinti Z bileşenlerinin titreşim ölçümlerinin X ve Z bileşenlerinde düşük hata ile tespit edilmiştir.
- ${}_0T_7$, ${}_0S_7$, ${}_1T_1$, ${}_2S_3$, modları periyot değerleri yakın olduklarından benzer sonuçlar göstermişlerdir. Özilinti sonuçları titreşim ölçümlerinde X ve Z bileşenlerinde, çarpaz ilinti sonuçlarında ise manyetik alan Y bileşeninin titreşim ölçümleri X ve Z bileşenleri ile çarpaz ilintilerinde tespit edilmiştir. Gözlemlerine bakıldığında ${}_0T_7$ hariç çarpaz ilinti X bileşenlerinin bütün ölçümlerinde tespit edilmiştir. Bu modlarda hataların değerlerine bakıldığında ve komşulukları incelendiğinde, frekansı yakın diğer modlara göre büyük benzerliğin ${}_1T_1$ modunda olduğu görülmüştür.
- ${}_1T_2$ (12,63 dk) modu genellikle Y bileşeninde ve gözlemlerinden alınan ölçümlerde tespit edilmiştir. Özilinti sonuçları manyetik alan Y bileşeninde ve çarpaz ilinti sonuçlarında manyetik alan Y bileşeni ile titreşim ölçümünü Z bileşenin de tespit edilmiştir. Gözlemlerine bakıldığında Y bileşeninin çarpaz ilintilerinin bütününde görülmüştür. Bunlara ek olarak LYC ve UPS istasyonlarının çarpaz ilintilerinin bütününde de tespit edilmiştir.

Şekil 34(a)'da %0,1 ile %0,5 arası hata paylı sinyaller kırmızıyla gösterilmiştir. Hata oranı %0,1'den düşük sinyaller ise yeşil renkle gösterilmiştir. Şekil 34(b)'de bunlara ek olarak maviyle belirtilen %0,5 ile %1 arası hata paylı sonuçlar grafiğe eklenmiştir. Şekil 34'e göre ${}_0S_2$, ${}_0T_3$, ${}_1S_2$, ${}_0T_4$, ${}_3S_1$, ${}_3S_2$, ${}_1S_4$, ${}_1T_1$, ${}_2S_3$ sinyalleri çok düşük bir hata payı ile tespit edilmiştir. Özellikle ${}_1T_1$, ${}_2S_3$ sinyalleri birçok defa çok düşük bir hata payıyla tespit edilmiştir.



(a)

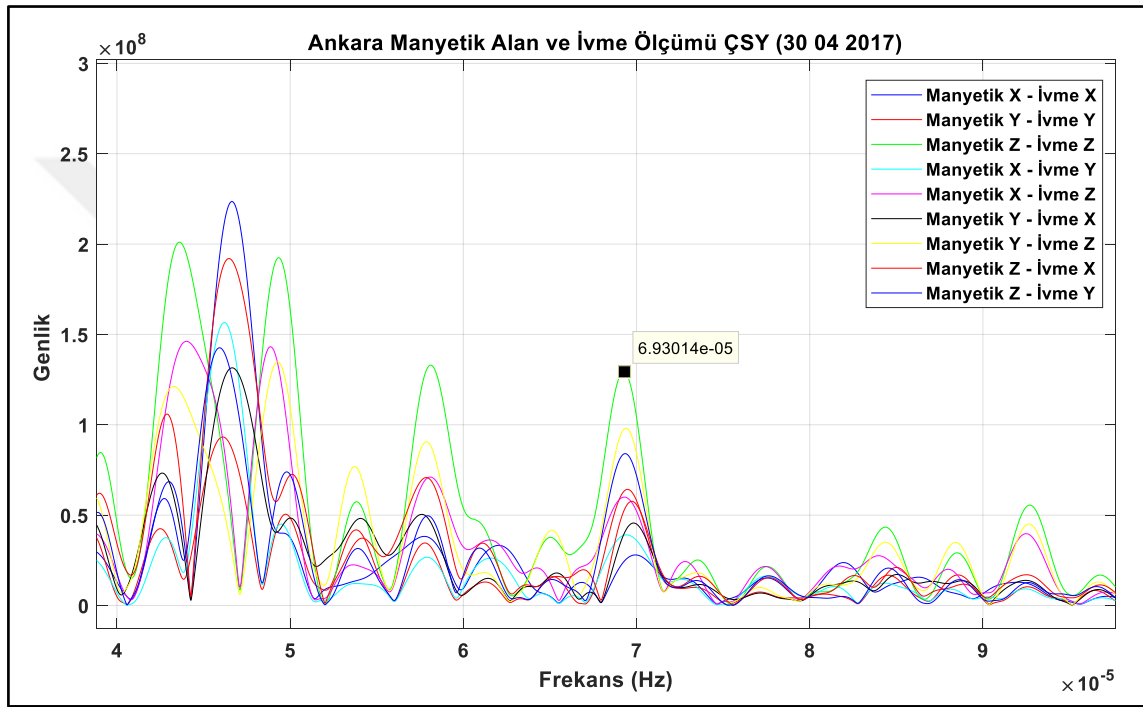


(b)

Şekil 34: Manyetik Alan ve İvme Ölçümleri Güç Spektral Yoğunluğu Genel Sonuç Grafikleri

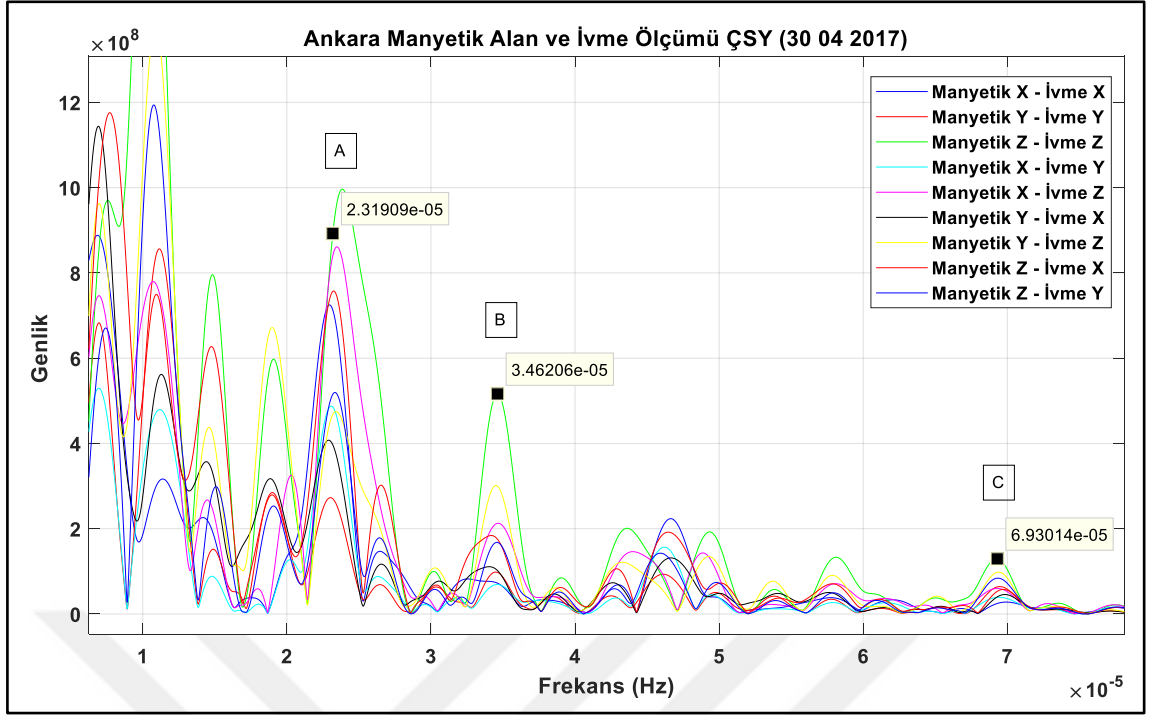
4.3.5 Güç Spektral Yoğunluğu ile Periyodik Gelgit Sinyallerinin Tespiti

Deneysel sonuçlarda bu aşamada diğer frekans aralıklarına dikkat edilecektir. Bu aralık yerkürenin gelgit dalgaları olarak da bilinen, Çizelge 4'te gösterilen 3 saat ile 24 saat arasında periyodu değişen dalgalarlardır. Şekil 35'te 0,0000693014 Hz frekans noktası 4,001 saat ile S6 gelgit dalgası moduna denk gelmektedir. Şekilde 9 adet grafik aynı anda çizilmiştir. Manyetik alan ve ivme ölçüm sonuçlarının çapraz ilintisi bulunmaktadır.

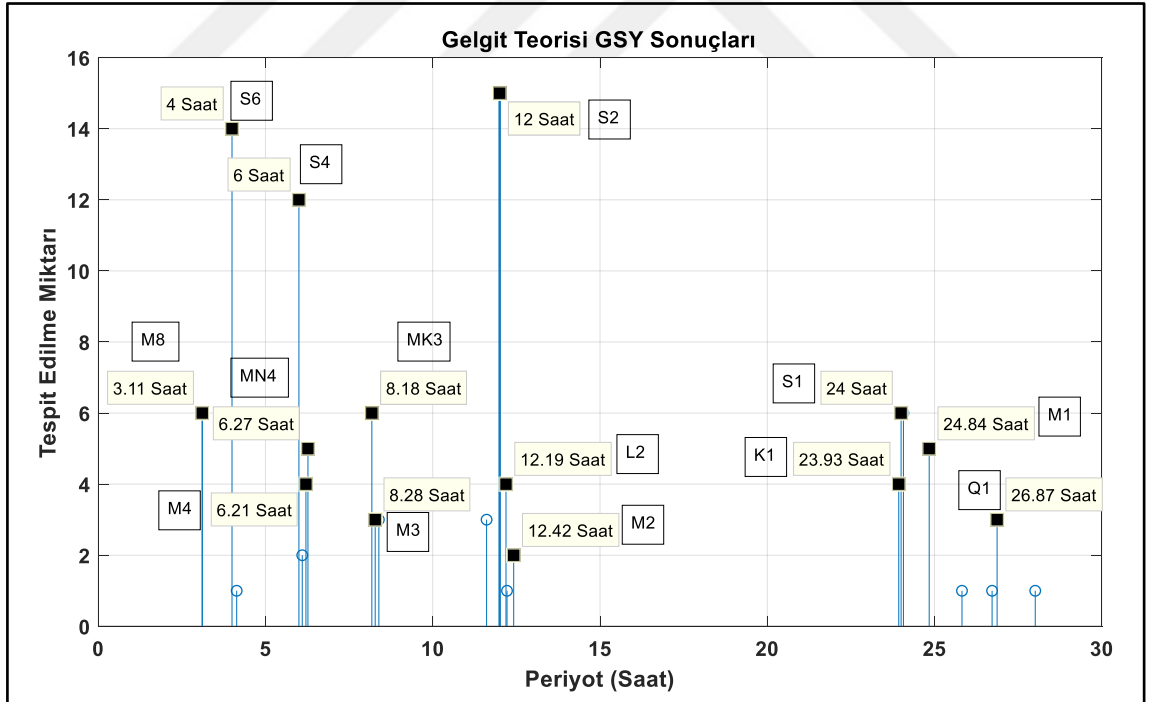


Şekil 35: Gelgit Dalgaları Frekans Aralığı Ankara Manyetik Alan ve İvme Ölçümü ÇSY Grafikleri-1

Şekil 36'da A ile işaretlenen bölge ortalama 0,00002319 Hz frekans noktası 11,98 saatle S2 gelgit moduna denk gelmekte, B ile işaretlenen bölge 0,000034620 Hz frekans noktası 8,02 saatle MK3 gelgit moduna düşük bir hatayla eşlenmektedir. C bölgesi Şekil 35'te de gösterilen, 4 saat süren dalgaların işaretlendiği bölgedir.



Şekil 36: Gelgit Dalgaları ÇSY Grafikleri-2



Şekil 37: Gelgit Dalga Modları Tespit Edilen Sinyallerin Gösterimi

Bu nokta diğer modların yanında bulunduğu konum hakkında fikir sahibi olmak için tekrar gösterilmiştir.

Çizelge 8: Çapraz Spektrum Üzerinden Tespit Edilen Gelgit Periyotları Çizelgesi

Mod Simgesi	Periyot (Saat)	Toplam Tespit Edilme Miktarı
S1	24,00	6
P1	24,07	6
M1	24,84	5
K1	23,93	4
Q1	26,87	3
O1	25,82	1
2Q1	28,01	1
S2	12,00	15
T2	12,02	15
R2	11,98	15
K2	11,97	15
L2	12,19	4
2SM2	11,61	3
M2	12,42	2
λ_2	12,22	1
MK3	8,18	6
2"MK3	8,39	3
M3	8,28	3
S4	6	12
MN4	6,27	5
M4	6,21	4
MS4	6,1	2
S6	4	14
M8	3,11	6
M6	4,14	1

Çizelge 8’de hangi dalga modunun kaç defa %1’den daha küçük hatayla tespit edildiği yazmaktadır. 30 Nisan 2017 tarihinde kaydedilen 72 saatlik 3 bileşen verisi ve gözlemlerinden alınan 3 istasyonun 3 bileşen verileri, özilinti ve çapraz iliniti olarak X, Y, Z bileşenlerinde değerlendirilmiştir. Bu uygulama sonucunda 24 adet veri seti elde edilmiştir. Bu veri setleri şunlardan oluşmaktadır:

- 30 Nisan 2017 manyetik alan verisinin güç spektral yoğunluğu
- 30 Nisan 2017 ivme verisinin güç spektral yoğunluğu
- 30 Nisan 2017 manyetik alan ve ivme verisinin çapraz güç spektral yoğunluğu

- Gözlemlerinden alınan manyetik alan verilerinin çapraz güç spektral yoğunluğu

Çizelge 8’de bahsedilen toplam tespit edilme miktarı, yukarıda açıklanan veri setlerinin içerisinde tespit edilmiş modların, toplam bulunma miktarını anlatmaktadır

Şekil 37’de tespit edilen modlar, tespit edilme sayısına ve 24 saatlik periyot uzunluğuna göre grafik şeklinde gösterilmiştir. Şekil 14’te ise 2008 ile 2012 yılları arasındaki 5 yıllık gelgit dalgalarının periyodu gösterilmektedir. Şekil 37 ile Şekil 14 tutarlılık göstermektedir. Farklı zamanlarda ve farklı coğrafi bölgelerde yapılan deneyler olmasına rağmen ikisinde de MN4 (6,27 saat), S4 (6,00 saat), M4 (6,21 saat), M3 (8,28 saat), S2 (12,00 saat), K1 (23,93 saat) modları tespit edilmiştir. Bu modlara ek olarak kendi ölçümlerimizde S6 (4,00 saat), M8 (3,11 saat), MK3 (8,18 saat), T2 (12,02 saat), R2 (11,98 saat), K2 (11,97 saat), L2 (12,19 saat), S1 (24,00 saat), P1 (24,07 saat), M1 (24,84 saat) ve Q1 (26,87 saat) modları birden fazla kez %1 hatanın altında tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan M3 modu hariç diğer tespit edilen modlar, en az bir kere sadece manyetik alan ölçümü ile değil, ivmeölçerle titreşim testlerinin özilintisi veya çapraz ilintisi ile de tespit edilmiştir. Özellikle S2, T2, R2, K2, S4, S6 modları manyetik alan ve ivme ölçümleri ile yüksek derecede ilinti içinde bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında ilk aşamada, kendi geliştirdiğimiz algılayıcı sistemle ölçtüğümüz yerkürenin manyetik alanı, özilinti yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulunan sinyaller ultra düşük frekanslı (ULF) sinyallere ve yerkürenin serbest salınımlarına göre yorumlanmıştır. Bir takım benzerliklerin bulunması sonrasında bu deneyin genişletilerek, benzer donanımla ve aynı matematiksel yöntemlerle, yerkürenin yerçekimi alanının ölçülmesine karar verilmiştir. 300 μHz ile 1350 μHz frekans aralığında yapılan gözlemler sonucu düşük frekanslı sinyallerin yüksek frekanslı sinyallere göre daha kolay tespit edildiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde 250 adet %1'den daha az hatalı özilinti ilişkisi bulunmuştur. Bu sinyallerin 173 tanesinin hata oranı %0,5'ten daha küçükken, 55 tanesinin ise %0,1'den daha küçük olduğu görülmüştür. Bu yöntemde frekans arttıkça sinyallerin tespit edilme başarı oranının düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin sinyallerin genlik büyüklüğünün azalması olduğu düşünülmüştür. Burada dikkat edilecek bir diğer noktaysa manyetik alan ölçerle yapılan ölçüm sonuçlarının aynı zamanda ivmeölçerle yapılan ölçüm sonuçlarıyla benzerlik göstermesidir. Tezin devamında ölçüm süresi 24 saatten 72 saate çıkarılmıştır. Veri setleri bu şekilde tekrar oluşturulmuştur. Matematiksel yöntem biraz daha geliştirilerek daha önce zaman ekseninde çalışılan durum frekans eksenine çevrilmiştir. Bu işlemler sonucu bulunan modlar Çizelge 7'de gösterilmiştir ve yorumlanmıştır. Her modun her bileşende görülmediği, baskın olduğu bileşenler bulunduğu görülmüştür. Tezin bu aşamasında manyetik alan verileri ile ivme verilerinin içinde bulundukları ilişki daha açık tespit edilmiştir. Benzer sonuçların burada da görülmesi sonucunda, sonuçların bağımsız olarak teyidi için gözlemlerinde benzer ölçümleri yapan kuruluşlardan veriler alınmıştır. Bu verilerin aynı gün ve aynı başlangıç zamanında olmasına dikkat edilmiştir. Yurtdışından alınan verilerin de aynı inceleme yöntemine tabi tutulması sonucu benzer ilişkilerin burada da olduğu görülmüştür. Detaylı bir sonuç incelemesi yaparsak, ilk analiz yöntemleri sonucunda yerkürenin mekanik serbest titreşim modları olan ${}_0S_2$, ${}_0T_2$, ${}_0S_3$, ${}_0T_3$, ${}_0S_4$, ${}_1S_2$, ${}_0S_0$, ${}_0T_6$, ${}_0S_7$ ve ${}_1T_2$ modlarını yalnızca ivmeölçerlerle değil aynı zamanda manyetometrik olarak da tespit edilmiştir. İkinci analiz verilerinin güç spektral yoğunluğunun hesaplanmasındaysa ${}_0S_2$, ${}_0T_3$, ${}_1S_2$, ${}_0T_4$, ${}_3S_1$, ${}_3S_2$, ${}_1S_4$, ${}_1T_1$, ${}_2S_3$ modlarının %0,1 hata ile bulundukları ${}_0T_2$, ${}_0S_4$, ${}_0S_0$, ${}_0T_5$, ${}_2S_2$, ${}_1S_3$, ${}_0S_6$, ${}_0T_6$, ${}_0T_7$ modlarınıninsa birçok defa en fazla

%1 hata ile bulundukları gözlemlenmiştir. İkinci analizlerin içerisinde yurtdışından alınan veriler de bulunmaktadır. Gözlemelerinden alınan verilerde tespit edilen ${}_0S_2$, ${}_1S_2$, ${}_0S_5$, ${}_0T_5$, ${}_1T_2$ modları kendi ölçümlerimizin sonuçları ile bileşen seçimi konusunda örtüşmektedir. Bu çalışmaların devamında konu olarak bağlantı bulunduğunu düşündüğümüz gelgit olayının periyot değerleri de incelemeye alınmıştır. Yerküre gelgit salınımları araştırılmış ve kendi ölçümlerimizle karşılaştırılmıştır. Sonucundaysa gelgit salınımlarının hem manyetik alan ölçerle veya hem ivmeölçerle tespit edilebildiği gözlemlenmiştir. S1, P1, M1, S2, T2, R2, K2, MK3, S4 ve S6 modlarının %1 hatadan daha düşük oranla birden fazla kez tespit edildiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, yeryüzünde bulunan ULF sinyalleri, çok düşük fiyatlı algılayıcıları içeren bir donanım yapısıyla bir takım sinyal işleme yöntemleri sonucunda sezimlenebilmiştir. Bu sinyaller sadece manyetik alan ölçümlerinde değil bunlara ek olarak ivmeölçer yardımıyla titreşim ölçümlerinde de tespit edilmiştir. Gözlemelerinden alınan verilerle karşılaştırmalı ve çapraz analizlerle benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yerküre gelgit dalgalarının frekans aralığı incelenmiştir. Elimizdeki veriler ile bu dalgaların hem manyetik alan ölçümünde, hem de ivme ölçümünde tespit edildiği gösterilmiştir. Gelgit dalgalarında bulunan bu ilişkinin benzer bir şekilde ULF sinyallerinde ve yerkürenin serbest salınım frekanslarında tespit edilmesi, bize bu sinyallerin oluşum etkenlerinden birinin yerkürenin içyapısındaki piezoelektrik nitelikli kayaç hareketleri olması gerektirdiğini düşündürmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Menk, F.W., *The Dynamic Magnetosphere*, IAGA Special Sopron Book Series 3, DOI 10.1007/978-94-007-0501-2_13, © Springer Science Business Media B.V., pp 223-256, **2011**.
- [2] Troitskaya, V.A., Gul'elmi, A.V., Geomagnetic Micropulsations and Diagnostics of the Magnetosphere, *Space Science Reviews* Vol:7, Issue 5-6, pp. 689-768 , **1967**.
- [3] Kessel, R.L., Solar Wind Excitation of Pc5 Fluctuations in The Magnetosphere and on the Ground, *J Geophys Res.*, Vol:113, **2008**.
- [4] *IAGA Recommendation Resolution* No:11, **1973**.
- [5] Jacobs, J.A., Kato, Y., Matsushita, S., Troitskaya, V.A., *J. Geophys. Res.* 69, 180., **1964**.
- [6] Takahashi, K., Ukhorskiy, A.Y., Solar Wind Control of Pc5 Power at Geosynchronous Orbit, *J Geophys Res.* doi:10.1029/2007JA012483, **2007**.
- [7] Takahashi, K., Ukhorskiy, A.Y., Timing Analysis of the Relationship Between Solar Wind Parameters and Geosynchronous Pc5 Amplitude., *J Geophys Res.* doi:10.1029/2008JA013327, **2008**.
- [8] Campbell, W.H., Matsushita, S., Auroral-zone Geomagnetic Micropulsations with Periods of 5 to 30 Seconds, *J. Geophys. Res.* 67, 555, **1962**.
- [9] Eriksson, P.T.I., Walker, A.D.M., Stephenson, J.A.E., A Statistical Correlation of Pc5 Pulsations and Solar Wind Pressure Oscillations. *Adv Space Res* 38:1763–1771, **2006b**.
- [10] Heilig, B., Lotz, S., Verö, J., Sutcliffe, P., Reda, J., Pajunpää, K., Raita, T., Empirically Modelled Pc3 Activity Based on Solar Wind Parameters, *Ann Geophys* 28:1703–1722, **2010**.
- [11] Ponomarenko, Waters, C. L., P. V., St-Maurice, J.P., Upstream Pc3-4 Waves: Experimental Evidence of Propagation to The Nightside Plasmapause, Plasmatrough., *Geophys Res Lett* 37:L22102. doi 10.1029/2010GL045416, **2010**.
- [12] Takahashi, K., McPherron, R. L., Terasawa, T., Dependence of The

- Spectrum of Pc3-4 Pulsations on The Interplanetary Magnetic Field, *J Geophys. Res.*;89,2770, **1984**.
- [13] Ndiitwani, D. C., Sutcliffe, P. R., A study of L-Dependent Pc3 Pulsations Observed by Low Earth Orbiting CHAMP Satellite, *Ann. Geophys.*, 28, 407–414, **2010**.
 - [14] Liu, W. L., Sarris, T.E., Li,X., Elkington,S.R., Ergun,R., Angelopoulos,V., Bonnell,J., Glassmeier,K.H., Electric and Magnetic Field Observations of Pc4 and Pc5 Pulsations in The Inner Magnetosphere: A statistical study, *J. Geophys. Res.*, **2009**.
 - [15] Murphy, K. R., I. R. Mann, I. J. Rae, and D. K. Milling, Dependence of Ground-Based Pc5 ULF Wave Power on F10.7 Solar Radio Flux and Solar Cycle Phase, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 73(11–12), 1500–1510, doi:10.1016/j.jastp.2011.02.018. **2011**.
 - [16] Claudepierre, S. G., Elkington, S. R., Wiltberger, M., Solar Wind Driving of Magnetospheric ULF Waves: Pulsations Driven by Velocity Shear at The Magnetopause, *J. Geophys. Res.*,113, doi:10.1029/2007JA012890. **2008**.
 - [17] Nishida,K., Earth's Background Free Oscillations, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol.41:719–740, **2013**
 - [18] Benioff, H., Press, F., Smith, S., Excitation of The Free Oscillations of The Earth by Earthquakes., *J. Geophys. Res.* 66:605–19, **1961**
 - [19] Masters, T. G., Widmer,R., Free Oscillations: Frequencies and Attenuations, *Global Earth Physics: A Handbook of Physical Constants*, **1995**
 - [20] Singh, S. J., Rani,S., Free Oscillations of The Earth , *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, pg 302, **1989**
 - [21] Lamb, H., On The Vibration of An Elastic Sphere, *Proceedings of the London Mathematical Society*, Vol. 13, No. 1, 1882, pp. 189-212. doi:10.1112/plms/s1-13.1.189, **1882**
 - [22] Love, A. E. H., *Some Problems of Geodynamics*, Cambridge University Press., New York, **1911**
 - [23] Benioff, H., Long Waves Observed in The Kamchatka Earthquake of November 4, 1952. *Journal of Geophysical Research*,63, 589–593, **1958**

- [24] Jobert, N., Evaluation De La Période D'oscillation D'une Sphère Elastique Hétérogène, Par Application Du principe De Rayleigh, *Comptes Rendus*, 243, 1230–1232., **1956**
- [25] Jobert, N., Sur La Période Propre Des Oscillations Sphéroïdales De La Terre, *Comptes Rendus*, 245, 921–922, **1957**
- [26] Backus, G. E., Gilbert, F., The Rotational Splitting of The Free Oscillations of The Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 47, 362–371, **1961**
- [27] Pekeris, C. L., Alterman, Z., Jarosch, H., Rotational Multiplets in The Spectrum of The Earth. *Physical Review*, 122, **1961**
- [28] Petrova, L.N., Oscillations of The Earth with periods of 9-57 min in the background seismic process and the energy flux direction in the range of the free oscillation ${}_0S_2$, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, Vol. 44, No. 1, pp. 26–37, **2008**
- [29] Petrova, L.N., Lin'kov, E. M., Spectra of Long-Period Vibrations Preceding Earthquakes, in *Problems of Geophysics*, Leningrad, Vol. 27, pp. 60–66, **1978**
- [30] U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration, https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/tides01_intro.html (Mayis, **2018**)
- [31] Ross, D.A., *Introduction to Oceanography*, New York, NY: HarperCollins. pp. 236-242, **1995**
- [32] Sumich, J.L., *An Introduction to the Biology of Marine Life*, sixth edition. Dubuque, IA: Wm. C. Brown. pp. 30-35, **1996**
- [33] Cavendish, H., Experiments to determine the density of Earth, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 88 , 469–526 **1798**
- [34] Thurman, H.V. *Introductory Oceanography*, seventh edition. New York, NY: Macmillan. pp. 252-276, **1994**
- [35] Sun Fact Sheet, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html> (Mayis, **2018**)
- [36] Moon Fact Sheet, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonf>

act.html (Mayıs, **2018**)

- [37] NOAA Ocean Service Education, https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/supp_tide07b.html (Mayıs, **2018**)tml».
- [38] Agnew, D.C., Earth Tides, *Treatise on Geophysics Hardcover* ISBN: 9780444538024 3.06. Pg 151-178, **2007**.
- [39] Hartmann, T., Wenzel, H.G., The HW95 Tidal Potential Catalogue, *Geophysical Research Letters* pg 3553-3556, **1995**
- [40] Cartwright, D.E., Tayler, R.J., New Computations of The Tide-Generating Potential, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 23: 45–74, **1971**
- [41] Courtney,E., Courtney,M., A More Accurate Fourier Transform, **2015**
- [42] Doodson, A. T., The Harmonic Development of The Tide-Generating Potential, *Proceedings of the Royal Society*, A. v. 100, 305–329, **1921**
- [43] Kowalik,Z., Luick, J., *The Oceanography of Tides* ,**2013**
- [44] Lopes, A.M., Tenreiro,J.A., Tidal Analysis Using Time–Frequency Signal Processing and Information Clustering, *Entropy* Vol:19, 390, **2017**
- [45] Arduino Mega, <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560/> (Mayıs **2018**).
- [46] İvmeölçer, <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf> (Mayıs **2018**)
- [47] Dönüölçer, <http://4tronix.co.uk/arduino/specs/L3G4200D.pdf> (Mayıs **2018**).
- [48] Magnetometre, <https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Honeywell%20PDFs/HMC5883L.pdf> (Mayıs **2018**).
- [49] Intermagnet, <http://www.intermagnet.org/imos/imotblobs-eng.php> (Mayıs **2018**)
- [50] Corinthios,M., *Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB*, CRC Press., pg 850, **2009**

EKLER

EK 1: Güç Spektral Yoğunluğu ile Özilinti ve Çapraz İlinti Fonksiyonları Arasındaki Matematiksel İlişki

$$E[X Y] = E[X Y] + E[X]E[Y] \quad (25)$$

$$E[X] = 0, E[Y] = 0 \quad (26)$$

$$E[X Y] = E[X Y] \quad (27)$$

Bir x fonksiyonun ortalaması eşitlik 28 ile hesaplanmaktadır. Tam sayının ortalaması yine bir tam sayıdır fakat içinde değişken bir terim var ise integrali alınmalıdır.

$$E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \mu_x \quad (28)$$

Bir sinyalin özilinti fonksiyonu eşitlik 16 ile gösterilmiştir. İlk durum t anında, ikinci durum $t + \tau$ anında gerçekleşmektedir. τ simgesi zamandaki gecikmeyi göstermektedir.

$$R_{XX}(\tau) = E[x(t) x(t + \tau)] \quad (16)$$

Sinyalimiz belirli bir aralıkta sonlu bir enerjiye sahipse ve ortalaması sıfırsa bu eşitlik devamında eşitlik 29 veya eşitlik 30 olmaktadır.

$$R_{XX}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) \int_{-T/2}^{T/2} x(t) x(t + \tau) dt \quad (29)$$

$$R_{XX}(\tau) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n+1} \right) \sum_{i=1}^n x(t_i) x(t_i + \tau) \quad (30)$$

Bu eşitlikler doğrultusunda ilk önce özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümünü ele alalım. Fourier dönüşümü temel olarak eşitlik 31 ile göstermektedir. Özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümü ilk aşamada bu eşitlik ile tanımlanmaktadır.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (31)$$

$$R_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (17)$$

Eşitlikleri düzenlerken sonlu enerjiye sahip olduğunu düşünerek sınırlar belirlenmektedir. Eğer bu varsayımı yapılmazsa integral sonsuz değerdeki sonuçlara doğru ilerleyebilmektedir. Sonlu enerjili ve belirli aralıkta değerleri sıfırdan farklı olan özilinti durumu eşitlik 29'da gösterilmiştir. Eşitlik 29'da belirtilen formdaki özilintiyi eşitlik 31'in içine yerleştirirsek, eşitlik 33 elde edilmektedir.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) E \left[\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^*(t) x(t + \tau) dt \right] \quad (32)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) E \left[\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^*(t) x(t + \tau) dt \right] e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (33)$$

Belirli bir aralığın Fourier dönüşümünü alır ve dış sınırları iç tarafa yazarsak eşitlik 33 ve devamında eşitlik 34 elde edilmektedir.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) E \left[\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^*(t) x(t + \tau) e^{-i2\pi f\tau} dt d\tau \right] \quad (34)$$

Daha sonra $t = k$ ve $t + \tau = m$ dönüşümleri yapılırsa, eşitlik 34'deki durumun sağ tarafı en son şu duruma gelmektedir.

$$\dots = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\left(\frac{1}{T} \right) \left(\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(k) e^{-i2\pi f k} dk \right)^* \left(\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(m) e^{-i2\pi f m} dm \right) \right] \quad (35)$$

Bu son hali de güç spektral yoğunluğuna eşittir [50].

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (18)$$

Aynı eşitlik yapısı ile çapraz ilinti durumu da elde edilebilmektedir.

$$R_{XY}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) \int_{-T/2}^{T/2} x(t) y(t + \tau) dt \quad (36)$$

$$R_{XY}(\tau) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n+1} \right) \sum_{i=1}^n x(t_i) y(t_i + \tau) \quad (37)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} R_{xy}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) E \left[\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^*(t) y(t + \tau) e^{-i2\pi f\tau} dt d\tau \right] \quad (38)$$

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xy}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (19)$$

Bu gösterimler sonucunda bir sinyalin özilinti fonksiyonunun Fourier dönüşümü güç spektral yoğunluğunu vermektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı Burak Karagözoğlu
Doğum Yeri Bozüyük
Medeni Hali Bekâr
E-posta burakkaragozoglu@outlook.com
Adresi TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü , ODTÜ
Yerleşkesi - Ankara

Eğitim

Lisans Hacettepe Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği
(2009 – 2014)
Yüksek Lisans Hacettepe Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği
(2014 - ...)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce İyi

İş Deneyimi

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü – Araştırmacı (2015 - ...)

Deneyim Alanları

Yıldızlar Kamerası, Güneş Algılayıcı Kamerası, Uydu Isıl Görüntüleme,
Donanım Geliştirme, Sinyal İşleme

Tezden üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 21/06/2018

Tez Başlığı: Manyetosferik ULF Sinyallerinin Sezimi ve Çözümlemesi

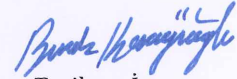
Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 71 sayfalık kısmına ilişkin, 21/06/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.



Tarih ve İmza

21/06/2018

Adı Soyadı: Burak Karagözoğlu

Öğrenci No: N14123129

Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği - Yüksek Lisans

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.



Dr. Öğr. Üyesi Yakup Özkazanç