

**İYONOSFER DİNAMİĞİNİN ANALİZİ  
VE  
MODEL TANIMA ÇALIŞMALARI**

**ANALYSIS AND MODEL IDENTIFICATION  
OF  
IONOSPHERE DYNAMICS**

**MELTEM KÖROĞLU**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2012

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

Prof.Dr.Feza ARIKAN

Üye (Danışman) :

Yrd.Doç.Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

Üye :

Yrd.Doç.Dr. Semih BİNGÖL

Üye :

Doç.Dr. Atila YILMAZ

Üye :

Yrd. Doç.Dr. Harun ARTUNER

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ...../...../..... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca ...../...../..... tarihinde kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# İYONOSFER DİNAMİĞİNİN ANALİZİ VE MODEL TANIMA ÇALIŞMALARI

MELTEM KÖROĞLU

## ÖZ

İyonosfer, güneş kaynaklı ışınlamalar nedeni ile iyonize olmuş gazlardan oluşan atmosferin en dış katmanıdır. İyonlaşma nedeni ile iyonosfer elektromanyetik dalgaların yayılımı açısından önemlidir. Kısa dalga haberleşme, uydu haberleşmesi ve uydu tabanlı seyir sistemleri açısından; iyonosferik modelleme büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, dünyanın belirli bir yerinde doğrudan ya da dolaylı biçimde GPS tabanlı IONOLAB-TEC yöntemi ile kestirilmiş VTEC zaman serilerine dayanarak iyonosferik modellemeler yapmaktır. Hedeflenen iyonosferik modeller, kapalı-kutu tipi modeller olarak ele alınmıştır. Kestirilen VTEC zaman serileri ile uyumlu dinamik modellerin sistem tanıma yaklaşımları ile belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Çalışmanın bir diğer hedefi ise, VTEC zaman serilerinin frekans analizinin yapılması ve iyonosferik dinamiklerin temel periyodik yapılarının ortaya konmasıdır. Bu çerçevede içinde, Ay kaynaklı gelgit dalgalarının ve yer kürenin sismik titreşim modlarının elektron yoğunlukları üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İyonosfer Dinamiği, İyonosferik Zaman Serileri, İyonosferik Modelleme, Kanonik Korelasyon Analizi, Yer kürenin Sismik Serbest Titreşim Modları

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

# **ANALYSIS AND MODEL IDENTIFICATION OF IONOSPHERE DYNAMICS**

**MELTEM KÖROĞLU**

## **ABSTRACT**

Ionosphere is the outer layer of the atmosphere. The major property of the ionosphere is the ionization of ionospheric layers by solar radiation. Because of ionization in the ionosphere, the ionosphere plays important role in electromagnetic wave propagation. Ionospheric modelling is of great importance in short wave communication as well as in satellite based navigation.

The aim of this thesis is to model the ionosphere based on the vertical electron content time series which were estimated indirectly on the specific locations of the Earth via IONOLAB-TEC methodology. Targeted ionospheric models are closed-box type models that are compatible with the estimated time series. Identification of ionospheric time series models are accomplished via a novel method based on canonical correlation analysis. Another goal of the study is to determine the periodic structures observed in VTEC time series. Within this framework, the effects of tidal waves from the Moon and Earth's Free Oscillations are observed from VTEC time series.

**Keywords:** Ionospheric Dynamic, Ionospheric Time Series, Ionospheric Modelling, Canonical Correlation Analysis, Earth Free Oscillations

Advisor: Assist.Prof.Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

## TEŐEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar çok yardımını gördüğüm bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, değerli danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ'a tez çalışmam süresince göstermiş olduğu anlayış ve yardımlarından dolayı teőekkür ederim.

Bu tezin oluşmasına kaynaklık eden ve tezin kapsamında kullanılan özverili çalışmalar sonucu ile oluşturduğu verileri sağlayan aynı zamanda değerli jüri üyelerinden biri olan Prof.Dr. Feza ARIKAN'a teőekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olan babam Nazım KUTLU'ya, annem Lale Őebnem KUTLU'ya ve kardeşim Ecem KUTLU'ya teőekkür ederim.

Tez çalışmam süresince beni cesaretlendiren ve destekleyen eşim Ozan KöROğLU'na teőekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

1. GİRİŞ .....	1
2. İYONOSFER VE İYONOSFER ELEKTRON YOĞUNLUĞU .....	5
2.1 İyonosfer Katman Yapısı .....	5
2.2 İyonosfer Değişkenliğine Neden Olan Etmenler .....	6
2.3 İyonosfer Elektron Yoğunluğu ve Ölçümleri .....	7
3. VTEC ZAMAN SERİLERİNİN ANALİZİ .....	9
3.1 Kullanılan VTEC Zaman Serilerinin Özellikleri .....	9
3.2 VTEC Zaman Serilerinde Periyot Belirleme .....	11
3.2.3 Allan Varyans Analizi .....	28
3.3 Kestirim Sonuçları .....	31
3.3.1 Gelgit Periyotları ve Tanımları .....	32
3.3.2 VTEC Periyotlarının Gelgit Periyotları ile İlişkilendirilmesi .....	33
4. VTEC ZAMAN SERİLERİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ .....	35
4.1 Kanonik Korelasyon Analizi Yöntemi .....	35
4.1.1 Kanonik Korelasyon Katsayılarının Özellikleri .....	37
4.1.2 Kanonik Ağırlıkların Özellikleri .....	37
4.1.3 Kanonik Değişken Özellikleri .....	37
4.2 Kanonik Korelasyon Analizi Yöntemi ile Sistem Tanıma .....	38
4.2.1 Güneşe Senkronize İyonosferik Model .....	39
4.2.1.1 Yerel Öğle Zamanı Bilgisi ve Hesaplama Yöntemi .....	39
4.2.2 Yerel Öğle Zamanı Verisi ile Sistem Tanımlama .....	43
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	67
6. KAYNAKLAR DİZİNİ .....	71
EKLER .....	75

EK.A – Lama, Alic İstasyonlarının Normalizasyon Sonuçları.....	75
EK.B – Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Sonuçları.....	78
EK.C – Lama, Hers, Ankr Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Sonuçları .....	79
EK.D– Veri Seti İçindeki Maksimum ve Minimum Noktaları Bulan Kaynak Kod ..	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 İyonosfer Katman Yapısı [38].....	5
Şekil 3.1 Ekvatorial Enlem-Malindi, Kenya Nisan 2002 VTEC Zaman Serisi .....	9
Şekil 3.2 Lama Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu .....	12
Şekil 3.3 Kir0 Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu .....	14
Şekil 3.4 Hers Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu.....	15
Şekil 3.5 Ankr Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu .....	17
Şekil 3.6 Lama Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı.....	20
Şekil 3.7 Kir0 Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı .....	21
Şekil 3.8 Hers Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı .....	23
Şekil 3.9 Ankr Şubat 2004 Periyodogram Sonuç Grafiği .....	25
Şekil 3.10 Hers Mart 2001 Allan Varyans Grafiği .....	29
Şekil 4.1 Kanonik Korelasyon Analizi Genel Yapısı [30].....	35
Şekil 4.2 Doğrusal Dinamik Sistemin Genel İfadesi.....	38
Şekil 4.3 Güneş Işınımı Kaynaklı Dinamik Sistem Modeli .....	39
Şekil 4.4 Yerel Öğle Zamanı Hesaplaması.....	41
Şekil 4.5 Kir0 Ocak 2001 Yerel Öğle Zaman Serisi .....	42
Şekil 4.6 Lama, Kir0, Hers, Ankr Şubat 2004 Yerel Öğle Zaman Serileri .....	43
Şekil 4.7 Lama, Hers, Kir0, Ankr Şubat 2004 U ile V Kanonik Sonuç İlişkileri .....	44
Şekil 4.8 Ankr Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları.....	45
Şekil 4.9 Hers Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları.....	46
Şekil 4.10 Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları .....	47
Şekil 4.11 Kir0 Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları.....	48
Şekil 4.12 Ankr, Kir0, Hers, Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli .....	49
Şekil 4.13 Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği .....	50



Şekil 4.14 Kir0 Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği.....	51
Şekil 4.15 Hers Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği.....	51
Şekil 4.16 Ankr Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği.....	52
Şekil 4.17 Radyal Titreşim Modu [28].....	53
Şekil 4.18 Küresel Titreşim Modları [28].....	54
Şekil 4.19 Burulma Titreşim Modları [28].....	54
Şekil 4.20 Dünya'nın Serbest Titreşim Periyotları Genel Yapısı [22].....	55
Şekil 4.21 Ankr Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği.....	58
Şekil 4.22 Hers Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği .....	60
Şekil 4.23 Lama Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği.....	62
Şekil 4.24 Kir0 Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği.....	63
Şekil 4.25 Lama, Kir0, Hers, Ankr Şubat 2004 VTEC Modelleri Bode Genlik Çizeneği .....	65
Şekil 4.26 Ankr, Hers, Lama, Kir0 Şubat 2004 Periyot Karşılaştırılması .....	66
Şekil 5.1 İyonosferi Etkileyen Etmenler .....	69
Şekil B.1 Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Grafiği.....	80
Şekil C.1 Ankr, Hers, Lama Temmuz 2002 Dinamik Modellerinin Bode Genlik Çizeneği.....	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 GPS İstasyonları Konum Bilgileri .....	10
Çizelge 3.2 Lama Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar .....	13
Çizelge 3.3 Kir0 Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar .....	15
Çizelge 3.4 Hers Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar .....	16
Çizelge 3.5 Ankr Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar .....	18
Çizelge 3.6 Lama Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri .....	20
Çizelge 3.7 Kir0 Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri .....	22
Çizelge 3.8 Hers Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri .....	24
Çizelge 3.9 Ankr Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri .....	26
Çizelge 3.10 Periyot Değerlerine Göre Genlikleri Normalize Edilmiş Periyot Bilgileri.....	27
Çizelge 3.11 Yıllara Göre Genlikleri Normalize Edilmiş Periyot Bilgileri .....	27
Çizelge 3.12 Allan Varyans Periyotları ile Periyodogram Periyotları Karşılaştırması .....	30
Çizelge 3.13 Gelgit Periyotları ve Tanımları .....	32
Çizelge 3.14 Periyodogram Periyotlarının Gelgit Periyotları ile Karşılaştırılması..	33
Çizelge 4.1 Dünya'nın Serbest Titreşim Periyotları [22,39] .....	56
Çizelge 4.2 Ankr Şubat 2004 VTEC Periyotların .....	59
Çizelge 4.3 Hers Şubat 2004 VTEC Periyotların .....	61
Çizelge 4.4 Lama Şubat 2004 VTEC Periyotların.....	62
Çizelge 4.5 Kir0 Şubat 2004 VTEC Periyotların .....	64
Çizelge A.1 Lama İstasyonu Şubat Ayı En Baskın Periyoda Göre Normalizasyon Sonuçları .....	75

Çizelge A.2 Lama İstasyonu Şubat Ayı En Baskın Yıla Göre Normalizasyon Sonuçları .....	76
Çizelge A.3 Alic İstasyonu Ocak Ayı En Baskın Periyota Göre Normalizasyon Sonuçları .....	77
Çizelge A.4 Alic İstasyonu Ocak Ayı En Baskın Yıla Göre Normalizasyon Sonuçları .....	77
Çizelge B.1 Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Sonuçları .....	78
Çizelge C.1 Ankr Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması.....	79
Çizelge C.2 Hers Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması.....	80
Çizelge C.3 Lama Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması.....	81

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

CCA	Canonical Correlation Analysis
FFT	Fast Fourier Transform
GPS	Global Positioning System
PSD	Power Spectral Density
SSN	Sun Spot Number
STEC	Slant Ray Total Electron Content
TEİ	Toplam Elektron İçeriği
UTC	Universal Time Coordinate
VTEC	Vertical Electron Content

## SÖZLÜK DİZİNİ

Allan Varyans	: Allan Variance
Baz vektörü	: Basis Vector
Çokyolluluk	: Multipath
Değişinti	: Varyans
Delme noktası	: Pierce Point
Doğrusal	: Linear
Dünya Serbest Titreşim	: Earth's Free Oscillation
En küçük kareler	: Least Squares
Etkin değer	: Root Mean Square
Gelgit Dalgaları	: Tidal Waves
Görelî Konum	: Offset
Gürültü	: Noise
İzgesel Güç Yoğunluğu	: Power Spectral Density
Kanonik Korelasyon	: Canonical Correlation
Kestirim	: Estimation
Kutup	: Pole
Mor ötesi	: Ultraviolet
Nedensel	: Causal
Ortak Değişinti	: Covariance
Özdeğer	: Eigenvalue
Özvektör	: Eigenvector
Öz Ortak Değişinti	: Autocovariance
Yanlılık	: Bias

Sıfır : Zero  
Standart Sapma : Standard Deviation  
Toplam Elektron İçeriği : Total Electron Content  
Yerel Öğle Zamanı : Local Noon Time

## 1. GİRİŞ

İyonosfer, atmosferin üst kısmında yer alan ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazlardan oluşan tabakadır. İyonize olmuş bu gaz tabakasında yeryüzünden gönderdiğimiz radyo dalgalarını geri yansıtabilecek seviyede pozitif ve negatif yüklü iyonlar ve nötr moleküller bulunmaktadır. İyonosferin iyonlaşmış yapıda olmasının temel sebebi, iyonosferde bulunan moleküllerin güneş ışınımı ile iyonize olmasıdır ve elektromanyetik dalgaların yayılımı açısından önem arz etmektedir [43].

İyonosferdeki yayılım, serbest elektron sayısına ve dağılımına bağlıdır. İyonosferdeki yapı ve elektron miktarı; zaman, konum, güneş ışınımı ve yerküre-ay etkileşimleri ile yakından ilgilidir [6].

İyonlaşma miktarı iyonosferin her bölgesinde aynı değildir. Bunun temel sebebi güneş ışınımı ile taşınan enerjinin iyonosferin her bölgesinde aynı olmamasıdır. Bir başka neden de iyonosferdeki tek atomlu gazların oranının yükseklik arttıkça artmasıdır [21] .

Dünya'nın Güneş'e göre olan konumu zamanla değiştiğinden iyonlaşma miktarı yerel zamana göre de değişmektedir. Bunun sonucunda ekvator bölgesinde en büyük elektron yoğunluğuna sahip olan ve kutuplara doğru gittikçe azalan, güneşi iki - üç saat gecikmeli olarak takip eden günlük elektron yoğunluğu dağılımı oluşur [25]. Gündüzleri alınan güneş ışınım seviyesi geceye göre daha fazla olduğundan, gündüzleri serbest elektron sayısı daha fazladır. Güneş Lekesi Sayısı (GLS) ve güneş patlamaları güneş ışınımını seviyesini, dolayısıyla da iyonlaşmayı ve iyonosferdeki serbest elektron sayısını önemli ölçüde etkiler.

İyonosferdeki elektron sayısı, Toplam Elektron İçeriği (TEİ) ile tanımlanmaktadır. Toplam Elektron İçeriği, bir metrekare kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron sayısıdır. Birimi TECU ile ifade edilir ( $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el}/\text{m}^2$ ) [3]. İyonosferin toplam elektron içeriği yer tabanlı teknikler olan İyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve evreyumsuz Geri Saçılım Radarı ile hesaplanabilmektedir. Bu tekniklerin ortak özelliği iyonosfere radyo dalgalarının gönderilerek inceleme yapılmasıdır [33].

TEİ dolaylı olarak GPS uydularından gelen radyo sinyallerinin kullanımıyla da kestirilmektedir. GPS sinyalleri iyonosferden geçerken iyonosferin yapısından dolayı gecikmeye uğrarlar. GPS sinyallerinin aralarındaki faz kaymasından yararlanarak TEİ kestirimleri gerçekleştirilmektedir [4]. Bu yaklaşımlardan biri olan IONOLAB-TEC yöntemi ile kestirilmiş VTEC zaman serileri tez çalışmasında kullanılmıştır ve ikinci bölümde özetlenmiştir.

IONOLAB araştırmacıları tarafından, dünyanın çeşitli yerlerinde konumlandırılmış GPS istasyonlarından alınan veriler IONOLAB-TEC yöntemi ile işlenerek, bu istasyonlar için VTEC zaman serileri kestirilmiştir [3].

İyonosfere ait VTEC zaman serilerinde bulunan değişimlerin genel olarak, günlük, haftalık ve mevsimlik olduğu bilinmektedir [11]. Ancak bu periyotlar iyonosferde bulunan bütün periyotları tanımlayamamaktadır. Dolayısıyla, iyonosferde bulunan diğer periyotları çıkarabilmek amacıyla elde bulunan VTEC zaman serilerinin izgesel güç yoğunlukları incelenip, elde edilen periyotlar tanımlanmaya çalışılmıştır. GPS istasyonlarından kestirilen VTEC zaman serilerinin izgesel güç yoğunlukları kestiirilirken, Hızlı Fourier Dönüşümü, periyodogram ve Allan Varyans yöntemleri kullanılmıştır. Ancak Hızlı Fourier dönüşümü ve Allan Varyans yöntemleri gürültü içeren verilerde, frekansları gürbüz kestiremediğinden; frekansların daha gürbüz bir biçimde kestirimini sağlayan periyodogram yöntemi ile frekans değerleri elde edilmiştir. İzgesel güç yoğunlularının kestirilmesi ile elde edilen periyotların, Güneş, Ay ve Dünya'nın hareketlerine bağlı olarak literatürde tanımlanmış olan gelgit periyotları ile örtüştüğü gözlenmiştir [9].

Tez kapsamında yapılan diğer bir çalışma ise, iyonosferin kapalı bir kutu gibi düşünülerek sürekli sistem modelinin çıkarılmasıdır. İyonosfere etkileyen en büyük etki güneş kaynaklı olduğu için, elde edilecek sistem modeli güneş ışınımı kaynaklı olarak ele alınmıştır. İyonosferin güneş ışınımı kaynaklı dinamik sistem modeli çıkarılırken Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi olarak bilinen giriş ve çıkış verileri arasında dinamik bağlantıyı sağlayan bir sistem tanıma yöntemi kullanılmıştır. Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile tanımlanan doğrusal dinamik sistem modeli kullanılarak, giriş verisiden VTEC kestirimleri yapılmıştır. İyonosferin ayrık zamandaki sistem modeli çıkarılarak, elde edilen sistemin kutup ve sıfırları eşleme yöntemi ile



kutup ve sıfırları sürekli zamana geçirilip sürekli zamandaki sistem modeli elde edilmiştir , davranış yapısı incelenmiştir. Sürekli zamandaki sistem modelinin rezonans frekanslarının literatürde tanımlanmış olan Dünya'nın serbest titreşim periyotlarıyla [22] örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, daha önce sismik ve barometrik tekniklerle ölçülmüş olan periyot değerleri, ilk kez dolaylı olarak iyonosfer VTEC zaman serileri üzerinden gözlemlenmiş olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında VTEC zaman serileri içerisinde bulunan periyotların kaynaklarının tanımlanması ve buna bağlı olarak iyonosferde değişime sebep olan temel etkenler ortaya konmuştur. İyonosfere Güneş, Ay ve Dünya kaynaklı olmak üzere üç temel etki bulunmaktadır. İyonosfere etkiyen en büyük etken Güneş olup, etkileri gerçekleştirilen analizlerde net bir biçimde gözlemlenebilmiştir. Ay kaynaklı etmenler Güneş'e göre daha zayıf olurken, yerkürenin titreşimi sonucu oluşan etkiler iyonosfer üzerinde en zayıf etkiye sahiptirler. Bütün bu değişimler, buldukları ortamda elektromanyetik bozulmalar yarattıklarından, iyonosferde bulunan yerel elektron içeriği değişimine neden olduğu değerlendirilmiştir.

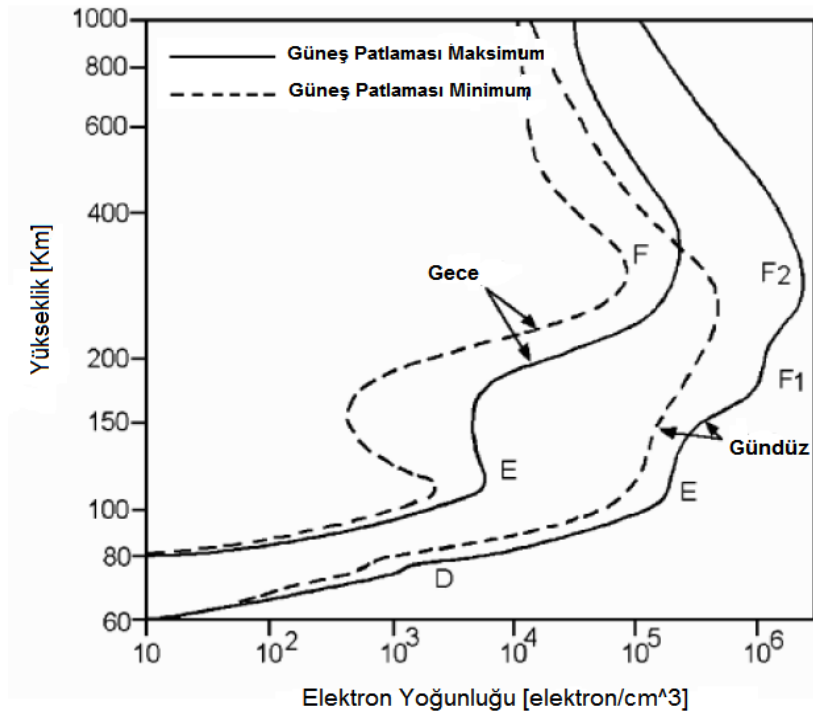
Bu tez çalışması birinci bölümü giriş olmak üzere toplam beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, iyonosfer hakkında genel bilgiler verilerek iyonosferin yapısını değiştiren etmenlerden bahsedilmiştir. Ayrıca, iyonosferin yapısını tanımlamada kullanılan toplam elektron içeriğinin hesaplanma yönteminden bahsedilmekte ve VTEC zaman serilerinin nasıl oluşturuldukları anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, VTEC zaman serilerinin özellikleri anlatılmakta olup, bu zaman serilerine ait frekans analizi çalışmaları yer almaktadır. Frekans analizi yöntemlerine dair genel bilgiler verilip, sonuçları tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlarla eşleştirilen gelgit periyotlarının yorumları da bu bölümde verilmektedir. Dördüncü bölümde, VTEC zaman serilerinin dinamik sistem modelini ortaya çıkarma yöntemleri anlatılmaktadır. Dinamik sistem modelini tanımlamak için kullanılan bir yöntem olan Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ve uygulama sonuçları verilmektedir. Sistem tanımlama sonucu olarak elde edilen rezonans periyotların eşleştiği yerküre serbest titreşim modlarına dair bilgi ve eşleşme sonuçları da bu bölümde verilmektedir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise, VTEC zaman serilerine ait periyotların oluşma nedenleri ve iyonosfere etkiyen etmenler genel olarak yorumlanmış, Dünya, Güneş ve Ay'ın hareketlerinin iyonosfere olan etkileri üzerinde durulmuştur. Eklerde ise, istasyonlara ait VTEC

zaman serilerinin frekans analizi sonuçları ve dinamik model sonucu ortaya çıkan periyotların Dünya'nın sismik titreşim modları ile eşleştirilmesini içeren şekiller ve çizelgeler verilmiştir.

## 2. İYONOSFER VE İYONOSFER ELEKTRON YOĞUNLUĞU

### 2.1 İyonosfer Katman Yapısı

Yeryüzünden yaklaşık 60-100 km yükseklikten başlayan iyonosfer katmanı, 250-400 km yükseklikte maksimum elektron yoğunluğuna ulaşır. İyonosfer katmanı kendi içinde içerdikleri iyonlaşma miktarına göre dört alt katmana bölünerek incelenmektedir [38].



**Şekil 2.1** İyonosfer Katman Yapısı [38]

D katmanı yeryüzünden 50 km yükseklikte başlayarak 90 km'ye kadar uzanmaktadır. İyonlaşma yüksek enerjili X ışınları ile başlayıp, yükseklik arttıkça serbest elektron miktarı artar. E katmanı 90 km ile 150 km yükseklikte bulunmaktadır. Bu katmanda iyonlaşma gece vakti büyük ölçüde azalır. İşaretler üzerinde kırınım etkisi yaratır. F katmanı, 150 km yükseklikte bulunmaktadır. Bu katman gece boyunca tek bir katman iken gün içinde F1 ve F2 olmak üzere iki katmana ayrılır. F1 katmanının iyonizasyon yoğunluğu güneşin açısına bağlı olup, F2 katmanından geçen yüksek frekans dalgalarını emer. F2 katmanı iyonlaşmanın en fazla olduğu çok değişken bir katmandır. Uzunluğu ve yoğunluğu zamana, mevsime ve güneş lekeleri aktivitesine göre değişir. En yüksek elektron yoğunluğu F2 katmanında olup, daha yükseğe çıktıkça ya da daha aşağı inildikçe elektron yoğunluğu azalır [38].

## 2.2 İyonosfer Değişkenliğine Neden Olan Etmenler

İyonosferdeki elektron sayısı güneşte oluşan güneş patlamaları, güneş lekeleri gibi aktivitelerden ve dünyanın manyetik alan değişiminden etkilenecek şekilde değişkenlik göstermektedir. İyonosfer yüksek enlem, orta enlem ve ekvatora yakın bölgelerde farklı yapı göstermektedir. Orta enlemdeki iyonosfer değişkenliği daha azdır. İyonosfer tabakasındaki elektron sayısı değişikliğine sebep olan etmenler güneş aktivitesi, iyonosferik fırtına, güneş lekeleri, jeomanyetik fırtına gibi manyetik alan değişikliğine sebep olan olaylar olarak gösterilebilir [25] .

İyonosferik fırtınalar dünyanın manyetik alanındaki ani ve şiddetli bozulmalardan ortaya çıkmaktadır ve güneş kaynaklı bir plazma yoğunluğunun dünya manyetik alanı ile olan karmaşık etkileşiminden kaynaklanır.

Güneş lekeleri, Güneş'in fotosfer (ışık küre) katmanında oluşan görece soğuk manyetik anomalilerdir. Soğukluğun olduğu Güneş lekelerinde, manyetik alan ilmekleri konveksiyon katmanını aşarak fotosferden dışarı çıkmaktadır.

İyonosferde serbest halde bulunan elektronlar güneş ışınımı ile iyonlaşmaya maruz kaldığı için gündüz serbest elektronların iyonlaşması yoğunken, gece iyonlaşma seviyesi düşmektedir. Bunun sonucu olarak iyonosferdeki elektron sayısı güneşin etkisine bağlı olarak periyodik değişiklikler göstermektedir. Günlük değişimler haricinde, dünyanın güneşin etrafında dönmesi ile güneş ışınının gelme açısındaki değişime bağlı olarak iyonosferde mevsimsel değişimler de gözlenmektedir [2]. Güneş lekeleri 11 yıllık bir döngü ile oluştuklarından, iyonosfer de bu güneş döngüsünün etkisine maruz kalmaktadır.

İyonosfer yapısı gereği elektron içerdiğinden manyetik alan değişimlerinden etkilenmektedir ve Dünya'da meydana gelen manyetik alan değişiklikleri de iyonosferi etkilemektedir. Dünya'nın manyetik alanı, Ay'ın ve Güneş'in etrafındaki hareketlerine bağlı olarak değişmektedir [24].

İyonosfer Güneş, Ay ve Yerküre'nin hareketlerine bağlı manyetik değişimler olmak üzere başlıca üç etkiye göre değişiklik göstermektedir.

### 2.3 İyonosfer Elektron Yoğunluğu ve Ölçümleri

İyonosferin elektromanyetik dalgalar üzerindeki gecikme etkisi, içerdiği elektron sayısı ile ilişkilidir. İyonosferdeki serbest elektronların sayısı, iyonosfere etkiyen elektromanyetik değişimlerden etkilenmektedir.

İyonosferdeki toplam elektron içerikleri radyo sinyallerinin kullanılmasını temel alan iyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve evreyuysuz Geri Saçılım Radarları ile kestirilmektedir [20]. İyonosferdeki TEI kestirimleri son yıllarda GPS alıcı sistemleri ile de elde edilmektedir. Gelişen uydu teknolojisi ile elektron yoğunluğu incelemelerinin çoğu, GPS tabanlı uydu teknolojisini kullanmaktadır. GPS alıcıları uydular tarafından düzenli olarak gönderilen kodlanmış bilgiyi alarak, alıcıyla uydu arasındaki mesafeden alıcının Dünya üzerindeki konum bilgisini sağlamaktadırlar.

GPS alıcısı ile uydu arasındaki mesafe, sinyalin uydudan gönderilme zamanı ile alıcıya ulaşma zamanı arasında geçen süreye bağlı olarak hesaplanan mesafedir. Alıcı ile uydu arasındaki mesafenin hesaplanması için temel olarak Eş. (2.1) kullanılmaktadır.  $P$  alıcı ile uydu arasındaki mesafeyi,  $T$  ve  $T_s$  sırasıyla sinyalin uydudan gönderilme zamanı ile alıcıya ulaşma zamanını ve  $c$  ise ışık hızını temsil etmektedir.

$$P = (T - T_s)c \quad (2.1)$$

Uydular tarafından gönderilen radyo sinyalleri, iyonosfer, troposfer katmanlarından geçerken kırınımına uğrayıp, gecikmeye uğrarlar. Bu gecikme süresi alıcı ile uydu arasındaki mesafenin yanlış ölçümüne neden olmaktadır. Ayrıca, alıcı ile uydu arasındaki saat senkronizasyonu ve çokyolluluk etkisi bu mesafeyi etkileyen etmenler arasında bulunmaktadır. Özet olarak, uydu verileri kullanılarak hesaplanan bu mesafe iyonosfer, troposfer, alıcı ve uydu yanlışlıkları gibi gecikmelerden etkilendiği için sözde menzil olarak ifade edilmektedir. Sözde menzil değerini hesaplamak için kullanılan ifade Eş. (2.2) ile verilmektedir. Eş. (2.2)'de  $P$  alıcı tarafından ölçülen sözde menzil değerini,  $R$  uydu ile alıcı arasındaki gerçek mesafeyi,  $X^s$  uydunun hareketinden kaynaklanan mesafe hatasını,  $I$  iyonosferden kaynaklanan gecikme hatasını,  $T$  troposferden kaynaklanan gecikme hatasını,  $E^s$  uydudan kaynaklı saat hatasını,  $E_R$  alıcı kaynaklı saat hatasını,  $M_p$  çokyolluluk etkisini,  $S_p$  ölçüm gürültüsünün uzaklığa etkisini ifade etmektedir.

$$P = R + X^S + I + T + E^S + E_R + M_p + S_p \quad (2.2)$$

İyonosferin kırılma etkisini kullanmak için değişik frekanslarda iki GPS sinyali kullanılır [17] . İki farklı frekans bandında çalışabilen GPS alıcılarına gelen sinyallerin sözde menzili, fazı veya her ikisinden de faydalanarak TEİ kestirimi yapılabilir [2]. Sözde menzil ile TEİ hesaplama modeli uygulaması basit ve uygun bir model olup, üzerinde ölçüm gürültüsünün ve çok yolluluk etkisinin olması dezavantajdır. Faz modelinde ölçüm gürültüsü ve çokyolluluk etkisi azdır ancak, faz belirsizliği veya kopması sonucu TEİ hesaplanması zorlaşmaktadır [3] .

Tez çalışması kapsamında kullanılan elektron içeriği zaman serileri IONOLAB-TEC yöntemi ile hesaplanmaktadır. IONOLAB-TEC yöntemi faz modeli kullanarak TEİ kestirimi yapmaktadır. Faz modelinde, faz sayısı ve dalga boyu çarpımı sinyalin aldığı yol olan sözde uzaklık değeri kullanılır. Böylece iki farklı frekansta gönderilen sinyaller kullanılarak elde edilen sözde uzaklık değerlerinin birbirlerinden çıkarımı sonucu iki sinyalin arasındaki grup gecikmesi bulunabilmektedir. Troposferin sözde menzil ve faz gecikmelerine olan etkisi frekanstan bağımsız olduğundan, iki farklı frekanstaki sinyal birbirinden çıkarılarak iyonosfer kaynaklı grup gecikmesi elde edilmeye çalışılır.

İki değişik frekanstaki sinyallerin gecikmeleri arasındaki fark değeri kullanılarak grup ve faz gecikmelerinden TEİ değeri hesaplanabilir [20] .Böylece elde edilen TEİ değerleri diğer yöntemlere göre daha hassas olarak elde edilmektedir [4]. Toplam elektron içeriği, STEC ve VTEC olmak üzere iki şekilde ifade edilebilmektedir. Alıcı ile uydu arasındaki yol boyunca hesaplanan TEİ değeri STEC değerini vermektedir.

STEC değerinden VTEC değeri elde edilirken iyonosferin sonsuz incelikteki bir tabakadan oluştuğu varsayılır. Bu varsayım ile üç boyutlu uzayda yapılması gereken iyonosfer çalışmalarını iki boyuta indirgemıştır [25]. İstasyon ve uydu arasındaki GPS sinyalinin sonsuz incelikteki bu katmanı kestiği noktaya *iyonosferi delme noktaları* denilmektedir. İyonosferi delme noktasındaki STEC değerinin dik izdüşümü VTEC değerini vermektedir.

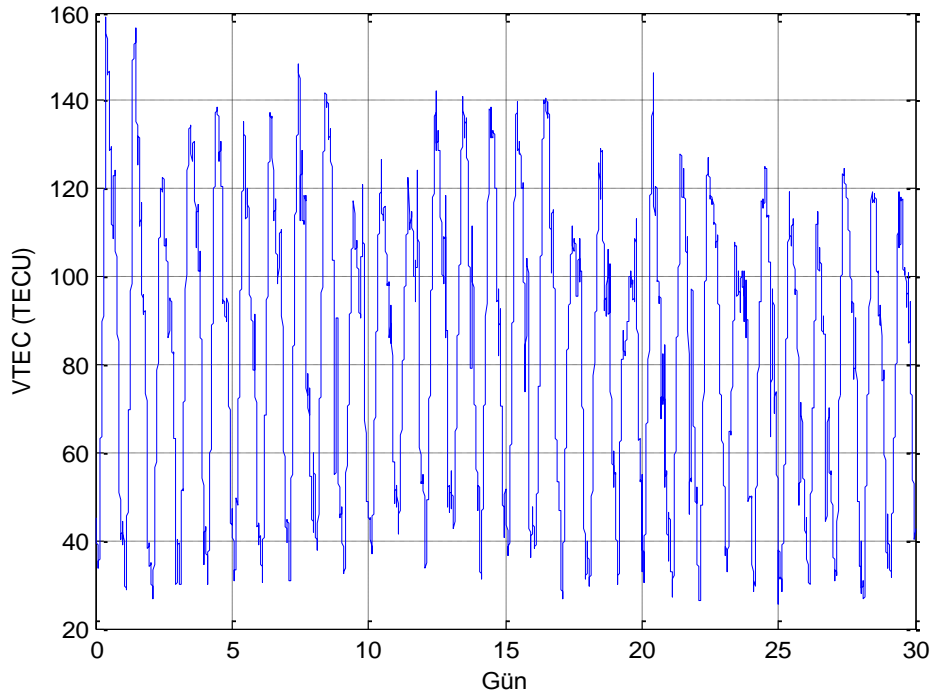
### 3. VTEC ZAMAN SERİLERİNİN ANALİZİ

VTEC zaman serileri üzerinde gerçekleştirilen çeşitli frekans analizi çalışmaları bulunmaktadır [11, 14, 27]. Gerçekleştirilen frekans analizleri sonucu VTEC zaman serilerine ait belirli periyotlar elde edilmiştir. Elde edilen periyotlar genellikle gece-gündüz oluşumuna bağlı olan günlük periyot ve mevsimsel değişkenliğe bağlı periyotlar olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada, VTEC zaman serilerinde, [11, 14, 27] ile belirlenmiş bu periyodik yapının ötesinde bir düzenlilik olup olmadığı araştırılmıştır.

GPS istasyonlarından IONOLAB-TEC yöntemi kullanılarak elde edilen VTEC zaman serileri incelenip, zaman serilerine ait frekans ve periyot değerleri elde edilerek zaman serilerinin yapıları incelenmiştir.

#### 3.1 Kullanılan VTEC Zaman Serilerinin Özellikleri

Kullanılan VTEC zaman serileri farklı boylam ve enlemlerde bulunan GPS yer istasyonlarının ölçümleri sonucu elde edilmiştir. İstasyonlara ait aylık VTEC verilerinin zamana göre değişkenliğine kabaca bakıldığında günlük bir periyoda sahip oldukları gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.1** Ekvatorial Enlem-Malindi, Kenya Nisan 2002 VTEC Zaman Serisi

Örnek olarak, ekvatorial enlemde bulunan Malindi istasyonunun Nisan 2002 aylık VTEC verisine bakıldığında gece ve gündüz döngüsüne bağlı temel salınımlar olduğu net bir biçimde gözükmemektedir. Ayrıca bu salınımların tepe kısımlarını oluşturan bölgelerde daha yüksek frekansa sahip değişimler de gözlemlenmiştir. Tepe bölgelerindeki bu yüksek frekanslı salınımların benzerleri iyonlaşmanın minimum seviyede olduğu gece saatlerinde de gözlemlenmektedir.

Kullanılan tüm IONOLAB-VTEC zaman serilerinde, örneklenme periyotları 2.5 dakika olarak alınmıştır. Ölçümler her istasyona özel yıllık ve aylık bazda IONOLAB sunucularında arşivlenmektedir. VTEC zaman serileri içerisinde GPS alıcılarından ölçüm alınmadığı zamanlar için VTEC değeri kesintili olarak verilmektedir.

VTEC zaman serilerine ait frekans kestirimlerinin eksiksiz yapılabilmesi için, elde bulunan zaman serilerinden kesintili olmayan yani tam veri içeren ve periyodik yapıya sahip olanlar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan VTEC zaman serilerinin elde edildikleri GPS istasyonlarının coğrafi konumları Çizelge 3.1 ile verilmektedir.

**Çizelge 3.1** GPS İstasyonları Konum Bilgileri

<b>İSTASYON</b>	<b>BOYLAM (°D)</b>	<b>ENLEM (°K)</b>
Hers, Hailsham,İngiltere	0.3362	50.8673
Ankr, Ankara, Türkiye	32.7586	39.8875
Lama, Olsztyn,Polonya	20.6699	53.8924
Kir0, Kiruna,İsveç	21.0602	67.8776
Alic,Alice Springs Avustralya	133.5307	-23.4012



## 3.2 VTEC Zaman Serilerinde Periyot Belirleme

Zaman serilerinin sahip oldukları frekansları belirlemek amacıyla zaman serilerine ait izgesel güç yoğunluklarının kestirimleri yapılmaktadır. Bir zaman serisinin izgesel güç yoğunluğu gücün frekanslara göre dağılımını yani sinyalde bulunan frekansların ne kadar baskın olduğunu göstermektedir. VTEC zaman serilerine ait frekansların belirlenmesi amacıyla Hızlı Fourier Dönüşümü yöntemi, periyodogram ve Allan Varyans yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemler ile VTEC zaman serilerine ait değişik frekans değerleri gözlemlenmeye çalışılmıştır.

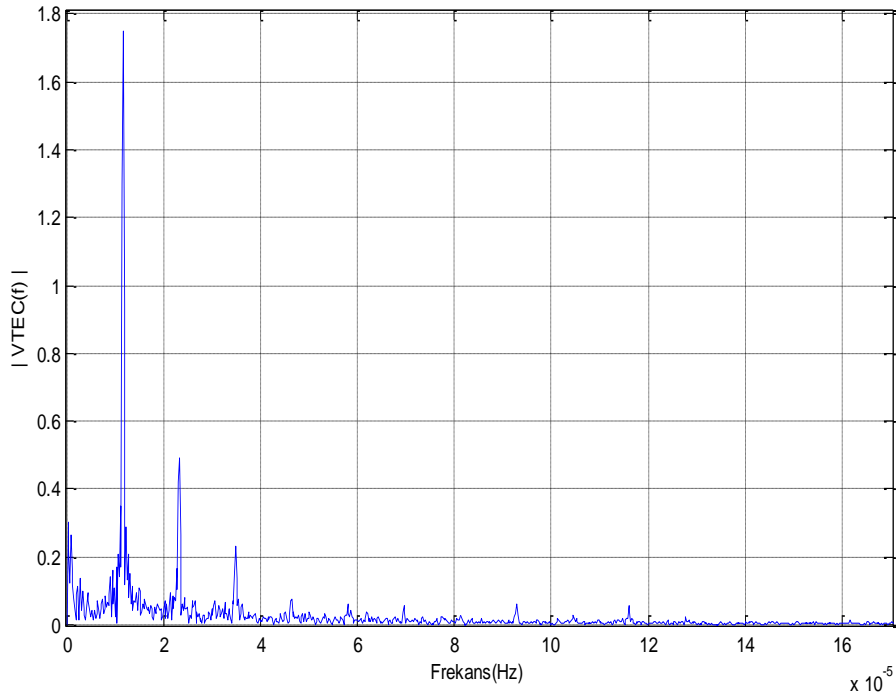
### 3.2.1 Hızlı Fourier Dönüşüm Yöntemi

Zaman serilerini frekans bölgesinde tanımlamak için Ayırık Fourier Dönüşümü kullanılmaktadır. Ayırık Fourier Dönüşümü Eş. (3.1) ile hesaplanmaktadır.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi kn/N} \quad k = 0,1,2, \dots, N-1 \quad (3.1)$$

Burada  $x[n]$  zaman serisi verisini gösterirken,  $N$  ise zaman serisinin boyunu temsil etmektedir. Burada verilen ilişki  $x[n]$  dizisini  $N$  uzunluklu bir frekans dizisine  $\{X[k]\}$  dönüştürme işlemidir. Ayırık Zaman Fourier Dönüşümü zaman serilerinin frekansları hakkında bilgi vermektedirler. Ancak Ayırık Zaman Fourier hesaplamaları çok işlem gerektirdiğinden, daha etkin bir hesaplama yöntemi olan Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) sıklıkla ayırık dönüşüm yerine kullanılmaktadır [34].

VTEC zaman serilerine Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanırken, pencere boyutu veri boyutuna en yakın olan ikinin üssü olarak seçilmiştir. Böylece VTEC zaman serisine ait bütün periyotların ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Lama, Kir0, Hers ve Ankr istasyonlarının Şubat 2004 VTEC zaman serilerine FFT tekniği uygulanmıştır. Lama Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait izgesel güç yoğunluğu grafiği Şekil 3.2 ile verilmiştir.



**Şekil 3.2** Lama Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu

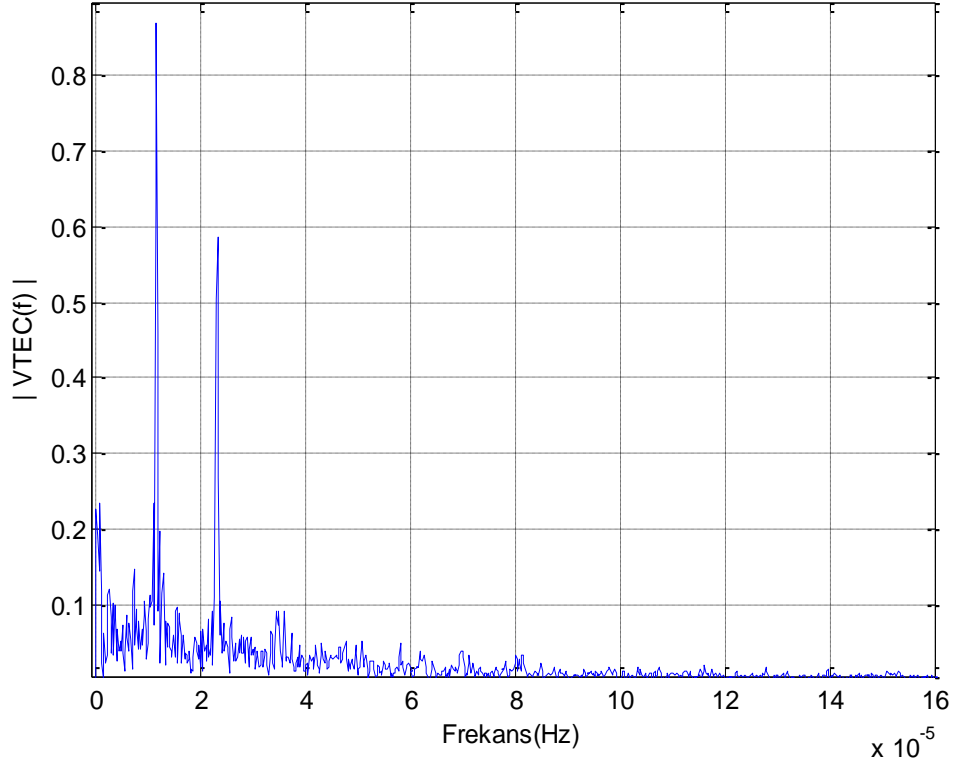
İzgesel güç yoğunluğunda gözlenen tepe noktaları özel bir program ile [10] belirlenmiştir. Bu program izgesel güç yoğunluğu üzerindeki en yüksek gücün %75'inin üstünde güce sahip frekans değerlerini vermektedir. Kullanılan programın kaynak kodu Ek-D'de verilmiştir. Gözlenen frekanslara ait periyotlar en yüksek genlikli bileşene göre normalize edilerek Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Çizelge 3.2'deki verilere göre en belirgin periyotlar 23.95 saatlik periyot ve bunun ikinci harmoniği olan 11.97 saatlik periyotlardır. Diğer periyotların genlikleri bu periyotlara göre düşük olduğundan ve gürültü ile ayırt edilemeyecek seviyede olduklarından sonuç olarak değerlendirilememiştir.

**Çizelge 3.2** Lama Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	0.265	0.151
124.12	0.111	0.063
105.02	0.137	0.078
85.33	0.101	0.058
65.01	0.092	0.052
31.03	0.140	0.080
29.68	0.162	0.092
27.30	0.172	0.098
26.25	0.208	0.119
25.28	0.351	0.200
23.95	1.752	1
22.75	0.286	0.163
22.02	0.209	0.119
21.33	0.149	0.085
18.70	0.106	0.060
13.00	0.093	0.053
12.30	0.166	0.094
11.97	0.490	0.279
10.50	0.071	0.040
9.10	0.072	0.041
7.98	0.230	0.131
5.98	0.076	0.043
4.79	0.062	0.035
2.98	0.063	0.036

Kir0 Şubat 2004 VTEC zaman serisine uygulanan Hızlı Fourier Dönüşümü'nün sonucu izgesel güç yoğunluğu olarak Şekil 3.3 ile verilmiştir



**Şekil 3.3** Kir0 Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu

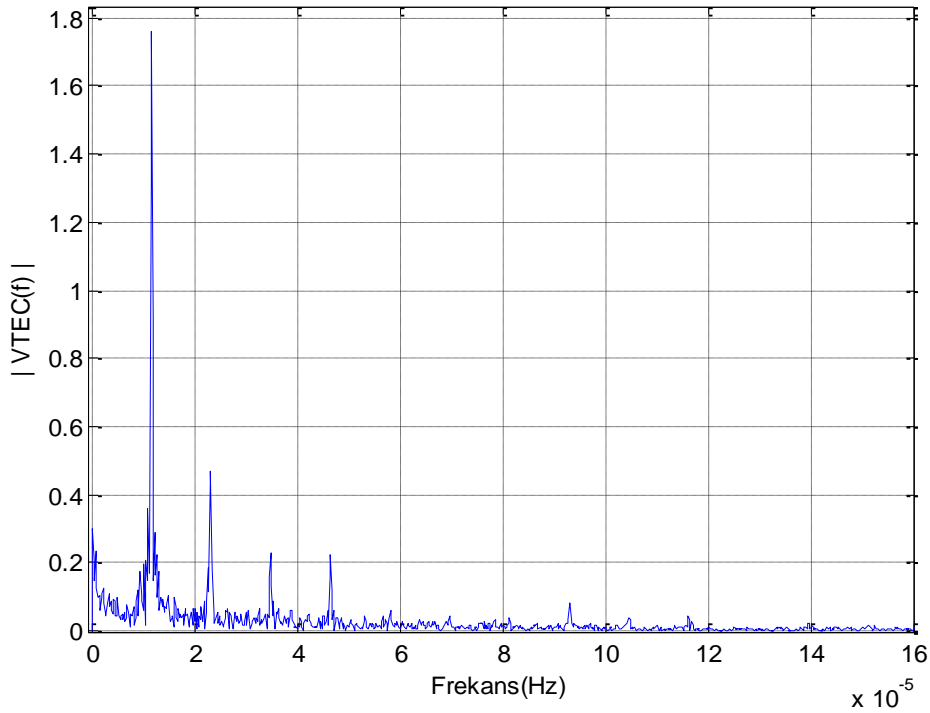
Kir0 Şubat 2004 istasyonu VTEC zaman serisine ait izgesel güç yoğunluğunda gözlemlenen frekanslara ait periyotlar, en yüksek genlikli bileşene göre normalize edilerek Çizelge 3.3 ile verilmiştir.

Kir0 istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisinde en belirgin periyotlar günlük ve yarım günlük periyotlar olarak gözlemlenmiştir. 341.33 saatlik ve 22.75 saatlik periyotlar ise gözlemlenebilen diğer yüksek genlikli periyotlardır.

**Çizelge 3.3** Kir0 Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	0.233	0.268
105.02	0.121	0.139
85.33	0.101	0.116
75.85	0.099	0.114
47.08	0.087	0.100
37.92	0.146	0.168
29.68	0.103	0.118
25.28	0.233	0.268
23.95	0.869	1
22.75	0.197	0.227
21.67	0.141	0.162
17.96	0.097	0.111
17.50	0.088	0.101
12.52	0.090	0.104
11.97	0.586	0.675
10.75	0.082	0.095
7.93	0.091	0.105
7.71	0.092	0.106

Hers Şubat 2004 VTEC zaman serisine uygulanan Hızlı Fourier Dönüşümü'nün sonucu elde edilen izgesel güç yoğunluğu Şekil 3.4 ile verilmiştir.



**Şekil 3.4** Hers Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu

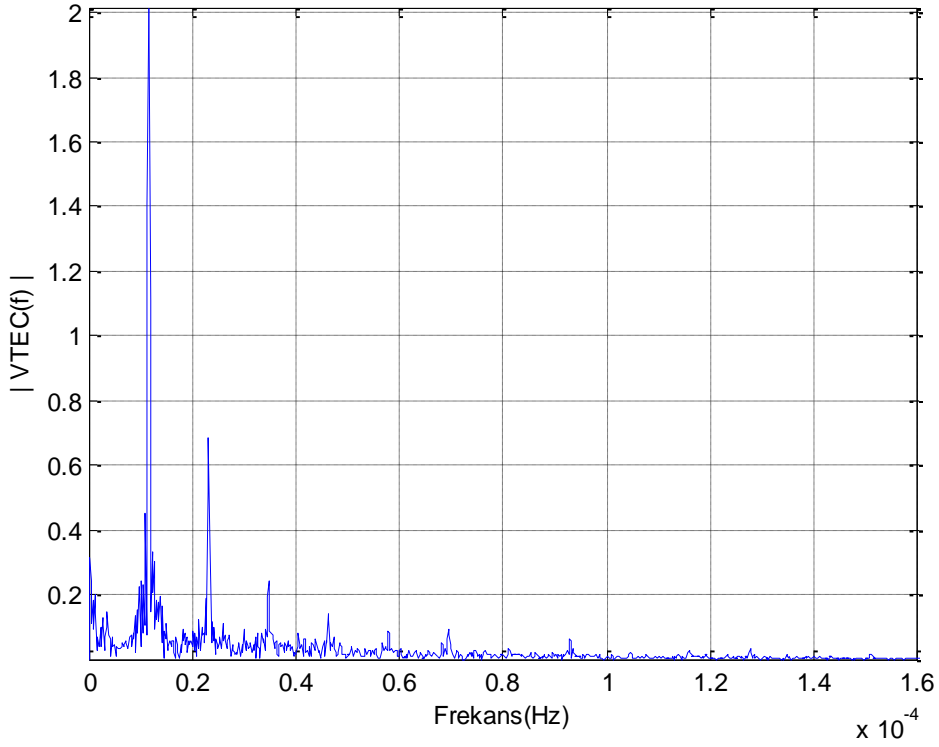
Hers Şubat 2004 istasyonu VTEC zaman serisine ait izgesel güç yoğunluğunda gözlemlenen frekanslara ait periyotlar, en yüksek genlikli bileşene göre normalize edilerek Çizelge 3.4 ile verilmiştir.

Hers istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisinde en belirgin periyotlar günlük ve yarım günlük periyotlar olarak gözlemlenmiştir.

**Çizelge 3.4** Hers Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	0.237	0.135
124.12	0.126	0.072
85.33	0.107	0.061
31.03	0.119	0.067
29.68	0.174	0.099
27.30	0.194	0.110
26.25	0.210	0.119
25.28	0.358	0.203
23.95	1.757	1
22.75	0.289	0.164
21.33	0.173	0.098
17.28	0.098	0.056
12.76	0.090	0.051
12.30	0.185	0.105
11.97	0.467	0.266
7.98	0.231	0.131
7.67	0.068	0.039
5.98	0.224	0.127
2.98	0.085	0.048

Ankr Şubat 2004 VTEC zaman serisine uygulanan Hızlı Fourier Dönüşümü'nün sonucu izgesel güç yoğunluğu olarak Şekil 3.5 ile verilmiştir.



**Şekil 3.5** Ankr Şubat 2004 İzgesel Güç Yoğunluğu

Ankr istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait izgesel güç yoğunluğunda gözlemlenen frekanslara ait periyotlar, en yüksek genlikli bileşene göre normalize edilerek Çizelge 3.5 ile verilmiştir.

Ankr istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisinde diğer istasyonlarda olduğu gibi en belirgin periyotlar günlük ve yarım günlük periyotlar olarak gözlemlenmiştir. Ankr istasyonu Şubat 2004 zaman serisinde gözlemlenen periyot sayısı, lama, kir0 ve hers istasyonlara göre daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi, bu istasyonda gözlemlenen periyotların genliklerinin lama, kir0 ve hers istasyonlarının genliklerine göre daha yüksek olmasıdır.

**Çizelge 3.5** Ankr Şubat 2004 Gözlenen Periyotlar

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	0.184	0.091
227.55	0.199	0.099
105.02	0.128	0.063
75.85	0.147	0.072
31.03	0.136	0.067
29.68	0.151	0.075
28.44	0.222	0.110
27.30	0.245	0.121
26.25	0.230	0.114
25.28	0.451	0.223
23.95	2.017	1
22.75	0.330	0.163
22.02	0.301	0.149
21.33	0.185	0.091
20.07	0.193	0.095
19.50	0.165	0.081
18.45	0.114	0.056
16.44	0.069	0.034
15.34	0.093	0.046
13.79	0.090	0.045
13.00	0.125	0.062
12.30	0.190	0.094
11.97	0.682	0.338
11.66	0.118	0.058
10.75	0.111	0.055
9.28	0.095	0.047
8.53	0.083	0.041
7.98	0.245	0.121
6.86	0.083	0.041
6.01	0.144	0.071
4.80	0.085	0.042
4.00	0.096	0.047
2.99	0.063	0.031

Her istasyon farklı enlem ve boylamlarda bulunduğundan, aynı zamandaki VTEC değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Bu sonuca göre, VTEC değerlerinin enlem ve boylama göre değiştiği söylenebilmektedir. Her dört istasyonda da baskın olan ve değişmeyen 14.22 gün, 23.95 saat, 11.97 saatlik periyotlar gözlemlenmiştir. Bu periyot değerlerinin her istasyonda belirgin olarak elde edilmesi sonucunda, bu baskın periyotların enleme göre değişmediği sonucuna varılmıştır. Bazı istasyonlarda baskın olarak gözlemlenen 7.98 saatlik periyot yüksek enlem istasyonunda 7.93 saat olarak gözlemlenmiştir. Bu gözleme göre bazı periyot değerlerinin belirgin olmasına rağmen, enleme göre değiştikleri sonucuna varılmıştır.



Hızlı Fourier Dönüşüm yöntemi ile zaman serileri incelendiğinde, frekans sonuçlarının çoğu çok küçük genliklere sahip olduğu için, gürültü seviyesinde kalmıştır. Dolayısıyla, bu periyot değerlerini Hızlı Fourier Dönüşüm yöntemi ile gözlemlemek mümkün olmamıştır.

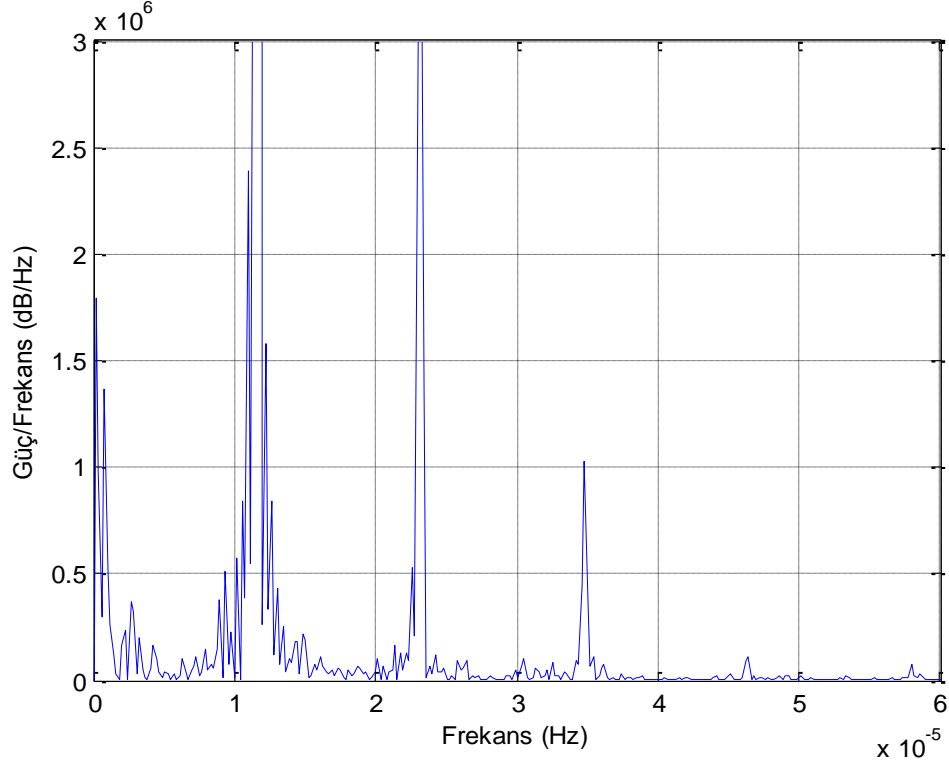
### 3.2.2 Periyodogram Yöntemi

Periyodogram izgesel güç yoğunluğunu kestirmek amacıyla kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. olup,  $\phi[w]$ ,  $y[k]$  sinyalinin periyodogramı Eş. (3.2) ile verilmiştir [34].

$$\phi[w] = \frac{1}{N} \left| \sum_{k=1}^N y[k] e^{-jwk} \right|^2 \quad (3.2)$$

Periyodogram yönteminin çözünürlüğü, kullanılan veri kümesi boyutu büyüdükçe artar. Periyodogram yöntemi zaman serisindeki gizli periyotları gözlemlemekte kullanılmaktadır. Periyodogram ile Hızlı Fourier Dönüşümü yöntemi ile bulunamayan daha küçük frekanslar elde edilmiştir. Periyodogram ile elde edilen izgesel güç yoğunluğu kestirimlerinden, periyot değerleri tepe değerlerini bulan Ek-D'de kaynak kodu verilen program aracılığı ile elde edilmiştir. Bu program izgesel güç yoğunluğunda gözlemlenen en yüksek gücün %75'inin üstünde güce sahip frekansların yerel maksimumlarını bularak ilgili frekans bileşenini periyoda dönüştürmektedir [10].

Periyodogram yöntemi, Hızlı Fourier dönüşümü uygulanmış olan lama, kir0, hers, ankr istasyonlarının Şubat 2004 VTEC zaman serilerine uygulanmıştır. Ek olarak, Lama ve Alic istasyonlarının Ocak ve Mart aylarına ait 2000, 2001, 2005, 2006 ve 2007 yıllarında elde edilen frekansların periyotlara ve yıllara göre normalizasyonu yapılarak, ortak gözlenen periyotların hangi yılda daha baskın olduğunu ve yıl içerisinde de hangi periyotun baskın olduğu gözlemlenmiştir. Lama istasyonunun Şubat 2004 zamanına ait periyodogram yöntemi ile elde edilmiş izgesel güç yoğunluğu kestirimi Şekil 3.6 ile verilmiştir.



**Şekil 3.6** Lama Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı

Periyodogram ile elde edilen izgesel güç yoğunluğundaki frekanslara ait periyotlar genlik değerlerine göre normalize edilerek Çizelge 3.6 ile verilmiştir.

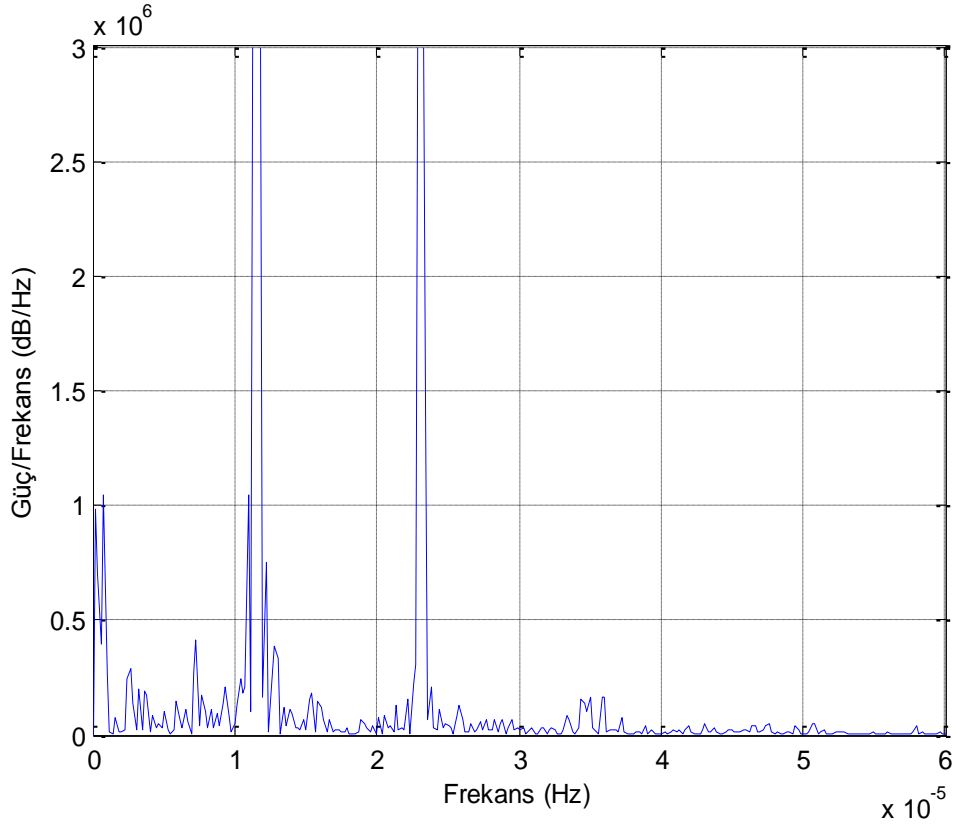
**Çizelge 3.6** Lama Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	1363335	0.023
105.02	365433.4	0.006
31.03	382328.5	0.006
29.68	509913.2	0.008
27.30	573514.3	0.009
26.25	838832.8	0.014
25.28	2388104	0.040
23.95	59200487	1
22.75	1580698	0.026
22.02	843101.3	0.014
21.33	431381.2	0.007
12.30	532003.8	0.008
11.97	4635846	0.078
7.98	1028022	0.017

Lama Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait bulunan periyotlardan 23.95 saat, 11.97 saat, 22.75 saatlik ve 14.22 günlük periyotlar belirgin olarak gözlemlenmiştir. Hızlı

Fourier Dönüşümü ile düşük genlikte elde edilen periyotlar, periyodogram yöntemi ile daha yüksek genliklerde elde edilmişlerdir.

Kir0 istasyonunun Şubat 2004 zamanına ait periyodogram yöntemi ile elde edilmiş izgesel güç yoğunluğu kestirimi Şekil 3.7 ile verilmiştir.



**Şekil 3.7** Kir0 Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı

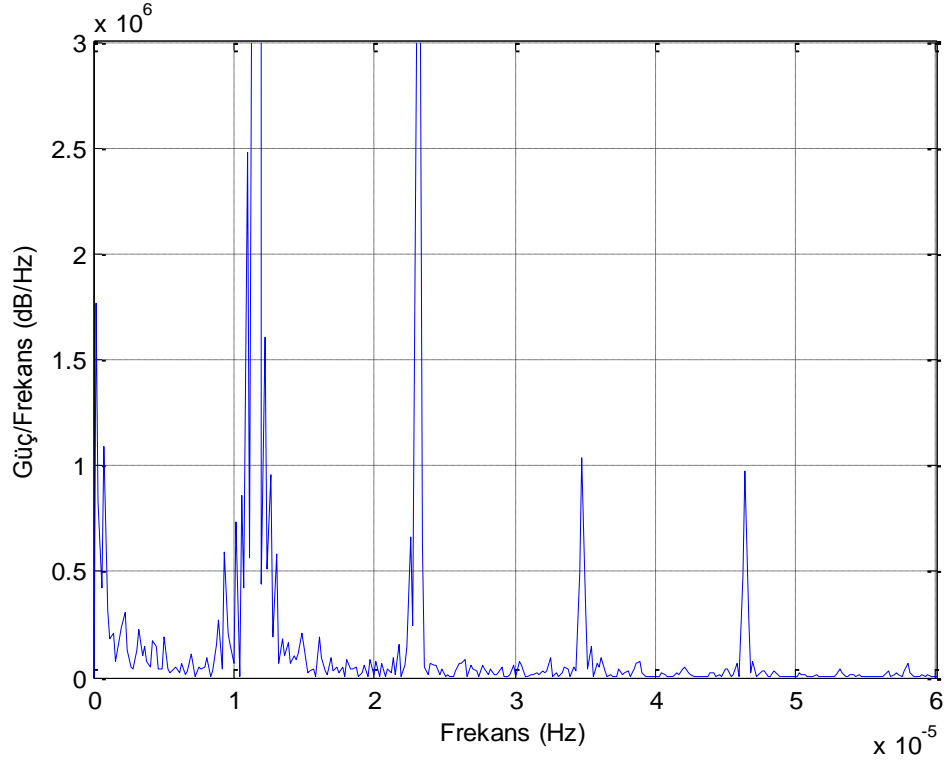
Periyodogram ile elde edilen izgesel güç yoğunluğundaki frekanslara ait periyotlar genlik değerlerine göre normalize edilerek Çizelge 3.7 ile verilmiştir.

**Çizelge 3.7** Kir0 Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	1049264.6	0.072
105.02	284907.4	0.019
85.33	198636.8	0.013
75.85	191299.9	0.013
47.08	147572.9	0.010
37.92	411419.5	0.028
35.92	172120.9	0.011
29.68	206225.0	0.014
25.28	1047754.0	0.071
23.95	14572209.0	1
22.75	755618.2	0.051
21.67	383979.9	0.026
17.96	181761.3	0.012
17.50	150230.9	0.010
13.00	128339.9	0.008
12.52	158110.5	0.010
11.97	6639575.9	0.455
11.66	210069.5	0.014
10.75	132419.6	0.009
7.93	161242.7	0.011
7.71	165601.8	0.011

Kir0 Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait bulunan periyotlardan 23.95 saat, 11.97 saat, 22.75 saatlik ve 14.22 günlük periyotlar belirgin olarak gözlemlenmiştir. Hızlı Fourier Dönüşümü ile düşük genlikte elde edilen periyotlar, periyodogram yöntemi ile daha belirgin olarak elde edilmişlerdir.

Hers istasyonunun Şubat 2004 zamanına ait periyodogram yöntemi ile elde edilmiş izgesel güç yoğunluğu kestirimi Şekil 3.8 ile verilmiştir.



**Şekil 3.8** Hers Şubat 2004 VTEC Zaman Serisi Periyodogramı

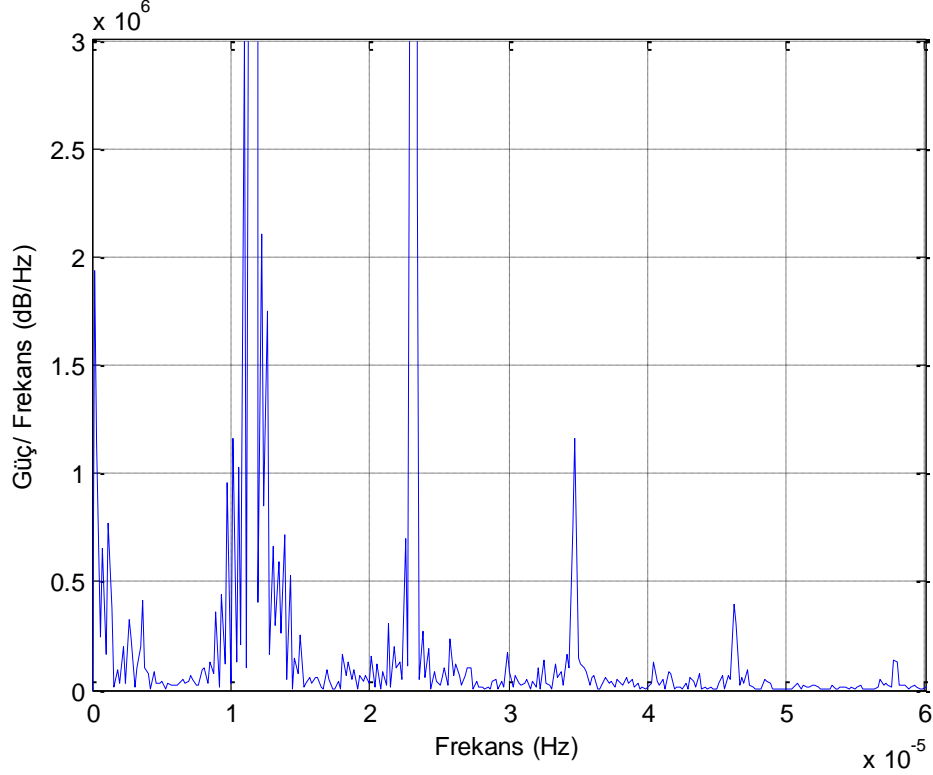
Periyodogram ile elde edilen izgesel güç yoğunluğundaki frekanslara ait periyotlar genlik değerlerine göre normalize edilerek Çizelge 3.8 ile verilmiştir.

**Çizelge 3.8** Hers Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
1365.33	1769510.9	0.029
341.33	1091726.9	0.018
124.12	310551.9	0.005
85.33	223629.1	0.003
65.01	170203.5	0.002
54.61	187498.8	0.003
31.03	274230.1	0.004
29.68	589038.3	0.009
27.30	731252.9	0.012
26.25	855318.0	0.014
25.28	2477274.9	0.041
23.95	59593831.9	1
22.75	1610941.0	0.027
22.02	958865.4	0.016
21.33	580259.7	0.009
20.68	182967.8	0.003
18.70	212834.3	0.003
17.28	187132.6	0.003
12.76	159196.7	0.002
12.30	665267.8	0.011
11.97	4217368.5	0.070
7.98	1033864.4	0.017
5.98	150485.0	0.002
2.98	972618.5	0.016

Hers Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait bulunan periyotlardan 23.95 saat, 11.97 saat, 22.75 saatlik ve 14.22 günlük periyotlar belirgin olarak gözlemlenmiştir. Hızlı Fourier Dönüşümü ile düşük genlikte elde edilen periyotlar, periyodogram yöntemi ile daha yüksek genlikte elde edilmişlerdir.

Ankr istasyonunun Şubat 2004 zamanına ait periyodogram yöntemi ile elde edilmiş izgesel güç yoğunluğu kestirimi Şekil 3.9 ile verilmiştir.



**Şekil 3.9** Ankr Şubat 2004 Periyodogram Sonuç Grafiği

Periyodogram ile elde edilen izgesel güç yoğunluğundaki frekanslara ait periyotlar genlik değerlerine göre normalize edilerek Çizelge 3.9 ile verilmiştir.

Ankr Şubat 2004 VTEC zaman serisinde de en belirgin olarak yine 23.95 saatlik günlük periyot ve harmoniği olan 11.97 saatlik periyot gözlemlenmiştir. Buna ek olarak belirgin şekilde elde edilen 22.75 saatlik ve 22.02 saatlik periyotlar genlikleri birbirlerine çok yakın olduğundan tek bir bileşen olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 3.9** Ankr Şubat 2004 Periyodogram Periyot Bilgileri

Periyot (Saat)	İzgesel Güç Yoğunluğu (TECU <sup>2</sup> )	Normalize İzgesel Güç Yoğunluğu
341.33	655345.4	0.008
227.55	769499.8	0.009
105.02	320533.4	0.004
75.85	417527.3	0.005
31.03	358723.8	0.004
29.68	444055.4	0.005
28.44	956075.1	0.012
27.30	1162758.6	0.014
26.25	1026258.3	0.013
25.28	3928054.6	0.050
23.95	78494253.7	1
22.75	2105068.1	0.026
22.02	1747777.7	0.022
21.33	661080.1	0.008
20.68	595062.0	0.007
20.07	719719.9	0.009
19.50	527628.7	0.006
18.45	250941.3	0.003
13.00	303432.4	0.003
12.30	697952.1	0.008
11.97	8991582.1	0.114
11.66	270948.2	0.003
10.75	239561.0	0.003
7.98	1165660.5	0.014
6.01	400154.0	0.005

Lama, Kir0, Hers ve Ankr istasyonlarının Şubat 2004 VTEC zaman serilerine uygulanan Periyodogram yöntemi ile zaman serilerine ait periyotlar elde edilmiştir. Periyodogram yöntemi, zaman serisinde bulunan birim frekans başına düşen güç değerini (TECU<sup>2</sup>/Hz) göstermektedir. Dolayısıyla periyodogram yöntemi ile elde edilen periyotlar, Hızlı Fourier Dönüşümü yöntemine göre elde edilen periyotlara göre daha belirgin elde edilmiştir. Böylece zaman serisine ait Hızlı Fourier Dönüşümü ile hesaplanamayan birçok periyot periyodogram yöntemi ile tespit edilmiştir.

Periyodogram yöntemi ile yapılan diğer bir çalışma ise Lama istasyonunun Ocak ayına ait 2000, 2001, 2005, 2006 yıllarının ortak olan periyotlarını yıl ve periyot bakımından normalize edilmesiyle en baskın yıl ve bir yıl içerisinde bulunan baskın periyot değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma için Lama istasyonunun Şubat ayı ile Alic istasyonunun Ocak ayına ait sonuçlar Ek-A'da verilmiştir.



Lama istasyonunun Ocak ayının 2000, 2001, 2005 ve 2006 yıllarına ait periyotlarının periyot değerlerinin bir yıl içerisindeki en yüksek genliğine göre normalize edildiğinde elde edilen sonuçları Çizelge 3.10 ile verilmektedir.

**Çizelge 3.10** Periyot Değerlerine Göre Genlikleri Normalize Edilmiş Periyot Bilgileri

Ortak Periyotlar-Ocak (Saat)	2000	2001	2005	2006
3.992	0.004108	0.001341	0	0
7.984	0.004607	0.004492	0	0
11.976	0.180643	0.183581	0.259346	0.405146
12.300	0.00644	0.022448	0	0.072949
13.385	0.002261	0.002703	0	0
19.787	0.003532	0.003592	0	0
20.378	0.00314	0.005333	0	0
21.005	0.005647	0.010017	0.022819	0
21.671	0.007901	0.012617	0	0
23.953	1	1	1	1
25.283	0.01452	0.063973	0	0.058626
26.256	0.004021	0.00889	0	0
455.111	0	0	0.034454	0.049027

Çizelge 3.10 ile verilen sonuçlara göre bir yıl içerisinde bulunan en belirgin periyot değerleri günlük periyot değeri olan 23.95 saat ve harmonikleri olan 11.97 saat olarak gözlemlenmiştir. Lama istasyonunun Ocak ayının 2000, 2001, 2005 ve 2006 yıllarına ait periyotların genliklerinin yıllar içerisindeki en yüksek genliğe göre normalize edilmiş sonuçları Çizelge 3.11 ile verilmektedir.

**Çizelge 3.11** Yıllara Göre Genlikleri Normalize Edilmiş Periyot Bilgileri

Ortak Periyotlar-Ocak (Saat)	2000	2001	2005	2006
3.992	1	0.468986	0	0
7.984	0.714158	1	0	0
11.976	0.685169	1	0.150015	0.084724
12.300	0.199763	1	0	0.124759
13.385	0.582383	1	0	0
19.787	0.684557	1	0	0
20.378	0.409914	1	0	0
21.005	0.392508	1	0.241893	0
21.671	0.436021	1	0	0
23.953	0.696312	1	0.10619	0.03839
25.283	0.158047	1	0	0.035182
26.256	0.314925	1	0	0
455.111	0	0	1	0.51444

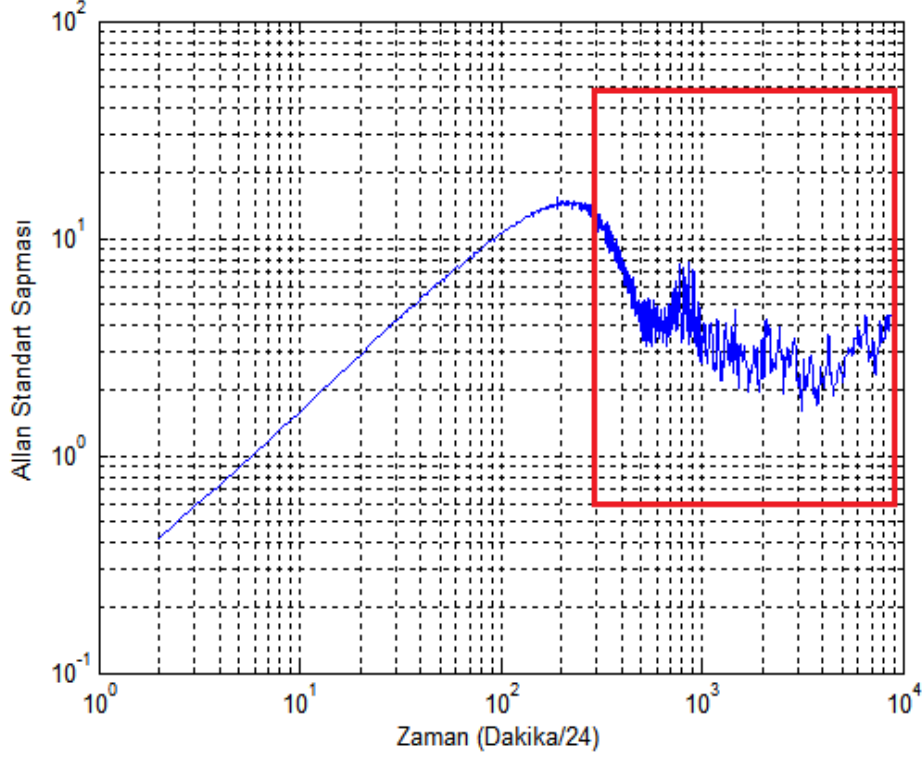
Çizelge 3.11 ile verilen sonuçlara göre, 3.992 saatlik periyot hariç bütün periyot değerleri 2001 yılında daha yüksek genlikte bulunmaktadır. Bunun nedeni, güneş döngüsünün 11 yılda bir tekrarlanmasıdır. 2001 yılında güneş döngüsü en yüksek değerini aldığı için periyotlar diğer yıllara göre daha baskın çıktığı değerlendirilmiştir.

### 3.2.3 Allan Varyans Analizi

Allan Varyans, zaman serilerinde bulunan periyodik yapıları bulmak için kullanılabilecek bir yöntemdir [18]. Allan Varyans veriler arasındaki zaman periyodunu kullanır. Allan varyans bir zaman serisinin  $\tau$  zaman aralıklı örneklenmesi ile elde edilen serilerin ardışık değerleri arasındaki farkın kareleri ortalamasının yarısı olarak tanımlanmaktadır [18].  $X(t)$  zamana göre değişen bir fonksiyon ise,  $\tau$  zaman aralıklı örneklenmesiyle  $Y[n] = X[n\tau]$  serisi elde edilir ve Allan Varyans Eş. (3.3) ile tanımlanır.

$$\sigma_x^2(\tau) = \frac{1}{2} E((y[n+1] - y[n])^2) \quad (3.3)$$

Allan Varyans örnekleme periyoduna bağlı bir fonksiyondur. Eğer zaman serisi içerisinde  $m$  periyodu var ise varyans değeri  $m$  zamanında en düşük değeri alacaktır. Allan Varyans yöntemi, veri içerisinde birden çok frekans kaynağı olduğu zaman, gürültüyü tam olarak ifade edemez. Dolayısıyla, frekans değerlerinin okunması zorlaşır. Ayrıca, yüksek çözünürlük için yüksek sayıda verinin depolanmasını gerektirmektedir. Hers istasyonunun Mart ayının 2001 yılına ait VTEC zaman serisine Allan Varyans analizi uygulandığında Şekil 3.10 elde edilmektedir.



**Şekil 3.10** Hers Mart 2001 Allan Varyans Grafiği

Şekil 3.10 ile verilen grafiğe göre yerel minimumların bulunduğu zamanlar, zaman serisindeki gözlemlenen periyotların olduğunu göstermektedir. Allan Varyans yönteminde zaman serisine ait periyotlar tanımlarken, varyansın yerel minimum olduğu zaman değerleri periyot olarak alınmaktadır. Dolayısıyla elde edilen varyans zaman serisine ait minimum varyans noktaları belirlenirken, Ek-D'de kaynak kodu verilmiş olan program kullanılmıştır. [10]. Bu program, Şekil 3.10 ile gösterilen zaman çerçevesi içindeki yerel minimumları bularak, bu minimum noktalardaki ilgili zaman bilgisini periyot olarak vermektedir. Çizelge 3.12 'de Allan Varyans yöntemine göre elde edilen periyot değerleri ile periyodogram yöntemi ile elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.10 ile verilen grafikte yerel minimum noktalarının birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Varyans zaman serisinde belirgin şekilde tepe değerleri görülmemiştir. Dolayısıyla varyans zaman serisine ait yerel minimum noktalarının tam olarak VTEC zaman serisine ait periyotları gösteren değerler olup olmadığı anlaşılamamıştır.

**Çizelge 3.12** Allan Varyans Periyotları ile Periyodogram Periyotları Karşılaştırması

Allan Varyans ile Bulunan Periyotlar (Saat)	Periyodogram ile Bulunan Periyotlar (Saat)	Yüzde Fark
304.20	341.33	10
186.70		
130.83		
106.04	105.02	0.97
92.33	91.02	1.43
84.75		
79.87		
70.75	68.26	3.64
52.41		
48.75	45.51	7.11
44.12		
41.29		
39.58	39.00	1.48
36.20	36.90	1.89
35.20	35.00	0.57
32.95	33.30	1.05
31.16		
29.79	29.68	0.37
28.75	28.44	1.09
27.54	27.30	
26.54	26.25	1.10
25.33	25.28	0.19
24.41		
23.54	23.95	1.71
22.75	22.75	0
22.00		
21.29	21.67	1.75
20.66	20.37	1.42
19.20		
18.62	18.96	1.79
17.70	17.73	0.16
15.87		
15.50	15.69	1.21
14.83		
14.50	14.52	0.13
14.20	14.22	0.14
13.87	13.93	0.43
12.66	12.76	0.78
12.25		
12.00		
11.75	11.97	1.83
11.54		
11.37	11.28	0.79

Çizelge 3.12 ile verilen sonuçlara göre Allan Varyans ile elde edilen periyotlar ve periyodogram ile elde edilen periyotların çoğunluk olarak yüzde 1'lik hata ile tutmaktadır. Ancak periyotlar en belirgin olarak yine periyodogram yöntemi ile elde edilmiştir. Allan Varyans yöntemi ile elde edilen periyotlar periyodogram ile elde edilen baskın periyotlar olarak gözlemlenmiştir. Buna göre olması gereken periyotların çoğu bulunamadığından Allan Varyans yönteminin VTEC zaman serilerindeki periyotları bulmada etkili bir yöntem olmadığı sonucuna varılmıştır. Allan Varyans yöntemi Ankr istasyonunun Aralık 2002 VTEC zaman serilerine de uygulanmıştır. İlgili sonuçlar EK B' de verilmektedir.

### **3.3 Kestirim Sonuçları**

Periyodogram ile GPS istasyonlarına ait VTEC verilerinin izgesel güç yoğunluklarına bakıldığında diğer yöntemler ile gözlenemeyen frekans değerleri elde edilmiştir. Buna bağlı olarak, frekans kestirim yöntemlerinden hassasiyeti en yüksek olan yöntem periyodogram yöntemi olarak belirlenmiştir. Her üç yöntem de farklı GPS istasyonlarına ait aynı zamandaki VTEC zaman serilerine uygulanarak, istasyonlar arasında ortak gözlenen periyotlar bulunması amaçlanmıştır. Frekans analizi yapılacak olan veri setleri kesikli olmayan ve periyodik yapısı bozulmamış olan veri setlerinden seçilmiştir. Seçilen veriler, Alic, Lama ve Hers istasyonlarının Ocak, Şubat ve Mart aylarının ortak yılları olarak alınmıştır.

En belirgin periyot, hemen hemen her zaman 23.95 saat olarak tespit edilen günlük periyot olmuştur. Bu periyot ve bunun ikinci harmoniği olan 11.9766 saatlik periyot istasyonlardan ve gözlem zamanından bağımsız bir sabit olarak tüm analizlerde ortaya çıkmıştır. Bunun yanısıra, 28.44 günlük (682.66 saat) ve 14.22 günlük (341.33 saat) periyotlar da istasyondan bağımsız olarak gözlemlenmiştir.

28.44 günlük periyodun “Lunar Monthly” ve 23.95 saatlik periyodun “Lunar Diurnal” periyotları olan gelgit periyotlarına yakın olması nedeni ile VTEC zaman serilerinde belirlenen periyotların gelgit dalgaları ile ilişkisi araştırılmıştır.

### 3.3.1 Gelgit Periyotları ve Tanımları

Gelgit dalgaları, Dünya ve Ay arasındaki gravitasyonel etkileşim modlarıdır. Ay'ın yerküreye uyguladığı gravitasyonel çekim kuvveti periyodik olarak değişmektedir. Bu çekim tüm yerküreyi etkilese de, sığ denizlerde su seviyesinin periyodik olarak artıp azalması bu etkinin en bilinen sonucudur. Gelgit kuvvetlerinin periyotları yayın [9] ile tanımlanmıştır.

**Çizelge 3.13** Gelgit Periyotları ve Tanımları

Sembol	Tanım	Periyot Değeri
	<i>Synodical Month</i>	29.53 gün
$M_m$	<i>Lunar Monthly</i>	27.47 gün
$M_{sf}$	<i>Lunisolar Synodic Fortnightly</i>	14.76 gün
$M_f$	<i>Lunar Fortnightly</i>	13.62 gün
$2Q_1$	<i>Larger Elliptic Diurnal</i>	28.00 saat
$Q_1$	<i>Larger Lunar Elliptic Diurnal</i>	26.86 saat
$\rho$	<i>Larger Lunar Evectional Diurnal</i>	26.72 saat
$O_1$	<i>Lunar Diurnal</i>	25.81 saat
$M_1$	<i>Smaller Lunar Elliptic Diurnal</i>	24.84 saat
$P_1$	<i>Solar Diurnal</i>	24.06 saat
$S_1$	<i>Solar Diurnal</i>	24 saat
$K_1$	<i>Lunar Diurnal</i>	23.93 saat
$J_1$	<i>Smaller Lunar Elliptic Diurnal</i>	23.09 saat
$OO_1$	<i>Lunar Diurnal</i>	22.30 saat
$2''N_2$	<i>Lunar Elliptical Semidiurnal Second-order</i>	12.90 saat
$MU_2$	<i>Variational</i>	12.87 saat
$N_2$	<i>Larger Lunar Elliptic Semidiurnal</i>	12.65 saat
$V_2$	<i>Larger Lunar Evectional</i>	12.62 saat
$M_2$	<i>Principal Lunar Semidiurnal</i>	12.42 saat
$\lambda_2$	<i>Smaller Lunar Evectional</i>	12.22 saat
$L_2$	<i>Smaller Lunar Elliptic Semidiurnal</i>	12.19 saat
$T_2$	<i>Larger Solar Elliptic</i>	12.01 saat
$S_2$	<i>Principal Solar Semidiurnal</i>	12 saat
$R_2$	<i>Smaller Solar Elliptic</i>	11.98 saat
$K_2$	<i>Lunisolar Semidiurnal</i>	11.96 saat
$2SM_2$	<i>Shallow Water Semidiurnal</i>	11.60 saat
$2''MK_3$	<i>Shallow Water Terdiurnal</i>	8.38 saat
$M_3$	<i>Lunar Terdiurnal</i>	8.28 saat
$MK_3$	<i>Shallow Water Terdiurnal</i>	8.17 saat
$MN_4$	<i>Shallow Water Quarter Diurnal</i>	6.26 saat
$M_4$	<i>Shallow Water Overtides of Principal Lunar</i>	6.21 saat
$MS_4$	<i>Shallow Water Quarter Diurnal</i>	6.10 saat
$S_4$	<i>Shallow Water Overtides of Principal Solar</i>	6 saat
$M_6$	<i>Shallow Water Overtides of Principal Lunar</i>	4.14 saat
$S_6$	<i>Shallow Water Overtides of Principal Solar</i>	4 saat
$M_8$	<i>Shallow Water Eighth Diurnal</i>	3.10 saat

Gelgit periyotlarının önemli olanları EK-C’de tanımlanmıştır. Gelgit dalgalarının detaylı teorisi için yayın [12]’ye bakılabilir.

### 3.3.2 VTEC Periyotlarının Gelgit Periyotları ile İlişkilendirilmesi

Hızlı Fourier Dönüşümü, periyodogram ve Allan Varyans yöntemleri kullanılarak, VTEC zaman serilerine ait periyotlar bulunmuştur. Kullanılan yöntemler arasından en yüksek çözünürlükte ve belirgin sonuç üreten, periyodogram yöntemi kullanılmıştır. Periyodogram yöntemi, zaman serisi içinde bulunan düşük güce sahip periyotların da görülmesini sağlamıştır.

Periyodogram yöntemine göre elde edilen periyotlar, aynı zaman farklı istasyonlarına ait VTEC zaman serilerinde ortak olarak gözlenen periyotlar, gelgit periyotları ile çok benzer çıkmıştır. Bütün istasyonların bütün yıllarına ait VTEC zaman serilerine periyodogram yöntemi uygulanarak, birçok zaman serisinde ortak bulunan periyotlar belirlenmiştir. Belirlenen periyotlar Çizelge 3.14’de yer alan gelgit periyotları ile karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 3.14** Periyodogram Periyotlarının Gelgit Periyotları ile Karşılaştırılması

Elde Edilen Periyot	Gelgit Periyotu	Yüzde Hata
28.44 gün	$M_m$ Lunar Monthly 27.4789 gün	3.514
18.96 gün		
11.37 gün		
14.02 gün	$M_{sf}$ Lunisolar Synodic Fortnightly 14.76 gün	-4.999
9.48 gün		
7.11 gün		
5.17 gün		
35.00 saat		
26.20 saat	$Q_1$ Larger Lunar Elliptic 26.86 saat	-2.433
25.23 saat	$O_1$ Principal Lunar Diurnal 25.82 saat	-2.27
23.95 saat	$K_1$ Lunar Diurnal 23.93 saat	0.097
22.75 saat	$J_1$ Smaller Lunar Elliptic Diurnal 23.09 saat	-1.449
21.67 saat	$OO_1$ Lunar Diurnal 22.30 saat	-2.816
21.00 saat		
12.30 saat	$\lambda_2$ Smaller Lunar Evectional 12.22 saat	0.646
11.97 saat	$R_2$ Smaller Solar Elliptic 11.98 saat	-0.025
7.98 saat	$M_3$ Lunar Terdiurnal 8.28 saat	-3.500
5.98 saat	$MS_4$ Shallow Water Quarter Diurnal 6.103 saat	-1.884
2.99 saat	$M_8$ Shallow Water Eighth Diurnal 3.10 saat	-3.500

Çizelge 3.14 ile verilen sonuçlara göre periyodogram yöntemi ile elde edilen periyotların çoğu Ay hareketinden kaynaklanan gelgit periyotları olarak da bilinen gelgit periyotları ile örtüşmektedir.

Periyodogram yöntemi sonucu elde edilen periyotların gelgit periyotları ile aralarındaki yüzde hata 4.99'u geçmemiştir. 23.95 saat günlük periyot ve harmoniği olan 11.97 saat ile 12.30 saatlik periyotlar %1'in altında hata ile örtüşmektedir. 22.75 saat ve 5.98 saatlik periyotlar da %1 civarında çıkmıştır. Bu gözlemlere dayanılarak, VTEC periyotları ile gelgit periyotlarının büyük çoğunlukla örtüştüğü sonucuna varılmıştır.

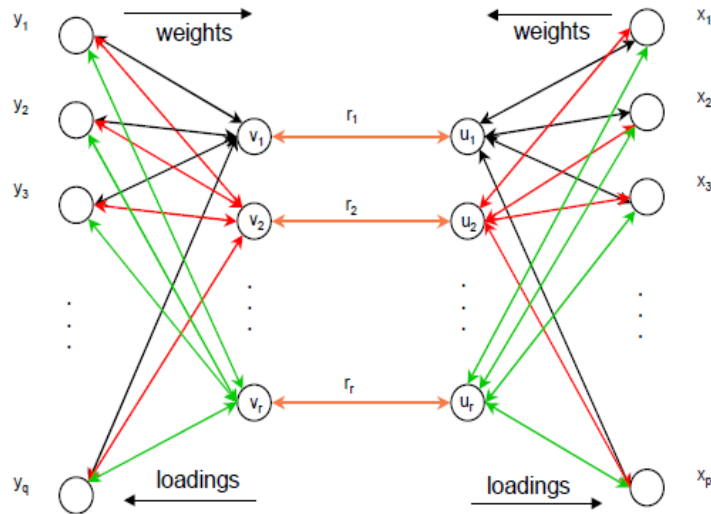


## 4. VTEC ZAMAN SERİLERİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ

GPS istasyonlarına ait VTEC zaman serilerinin sistem modelini tanımlama yönelik giriş ve çıkış verileri arasında doğrusal ifade tanımlayan Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi uygulanmıştır. Böylece VTEC zaman serilerinde bulunduğu varsayılan, frekans analizleri ile gözlemlenemeyen periyotların, sistem modelinin öz fonksiyonları olarak bulunması hedeflenmiştir.

### 4.1 Kanonik Korelasyon Analizi Yöntemi

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi iki çok boyutlu değişken kümesinin arasındaki doğrusal bağlantıyı tanımlamakta kullanılmaktadır. İki veri kümesinin bulunacak olan baz vektörlere olan izdüşümü alındığında aralarındaki korelasyon değerinin maksimum olan baz vektörleri bulma problemi olarak tanımlanabilir. Bulunan bu baz vektörler arasındaki ilişki doğrusal olarak ele alınmaktadır. Baz vektörlerin boyutu, en küçük boyuta sahip değişkenin boyuna eşit ya da daha küçük olabilir [30].



**Şekil 4.1** Kanonik Korelasyon Analizi Genel Yapısı [30]

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi  $X$  ve  $Y$  matrislerinin elemanları, iki veri kümesi arasındaki korelasyonu en yüksek değerde elde edilecek şekilde belirlenen ağırlıklar ile çarpılarak  $U$  ve  $V$  olarak adlandırılan aralarında doğrusal bir bağlantı olan matrisler elde edilmektedir.

$X$  ve  $Y$  n örnek içeren iki veri matrisi olarak Eş. (4.1) ile tanımlanır.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}_{n \times p} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n \times k} \quad (4.1)$$

$x_i \in IR^p$  ve  $y_i \in IR^k$  sıfır ortalamalı rastgele değişkenler olup  $X$  ve  $Y$  matrislerinin sütun vektörleridir.  $a \in IR^p$  ve  $b \in IR^k$  olmak üzere Eş. (4.2) ile verilen ifade tanımlanır.

$$\begin{aligned} U &= a^T x_i \\ V &= b^T y_i \end{aligned} \quad (4.2)$$

Eş. (4.3) ile verilen optimizasyon probleminin çözümü olan  $a$  ve  $b$  vektörlerinin belirlenmesi Kanonik Korelasyon Analizi olarak anılmaktadır. Buna göre  $U$  ve  $V$  matrislerinin normlarının 1 olduğu varsayılarak,  $U$  ve  $V$  eş matrislerinin korelasyon değerini maksimum olmasını sağlayan  $a$  ve  $b$  vektörleri Kanonik Korelasyon Analizi sonucu olarak verilir.

$$a, b = \arg \max(\text{corr}(U, V)), \quad |a^T x_i| = |b^T y_i| = 1 \quad (4.3)$$

Kanonik Korelasyon Analizi problemi çözümünde kullanılan  $x$  ve  $y$  matrislerinin ortak değişinti matrisi olan  $P$  Eş. (4.4) ile verilmiştir.  $P_{XX}$   $X$  matrisinin özortak değişinti matrisini,  $P_{XY} = P_{YX}^T$   $X$  ve  $Y$  matrisleri arasındaki ortak değişinti matrisini,  $P_{YY}$  ise  $Y$  matrisinin özortak değişinti matrisini temsil etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} P_{XX} & P_{XY} \\ P_{YX} & P_{YY} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Kanonik Korelasyon Analizi probleminin çözümünün Eş. (4.5) ile tanımlanan genelleştirilmiş özdeğer özvektör problemine eşdeğer olduğu gösterilebilir.  $\rho$  değeri  $U$  ve  $V$  matrislerinin korelasyon değerini temsil etmektedir.

$$\begin{bmatrix} 0 & P_{XY} \\ P_{YX} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} P_{XX} & 0 \\ 0 & P_{YY} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Özdeğer özvektör problemi çözümü gibi Kanonik Korelasyon Analizi probleminin de çözümü  $(\rho_i, \mathbf{a}_i, \mathbf{b}_i)$  olarak çıkacaktır. En büyük genelleştirilmiş özdeğer olan  $\rho_{max}$  ile eşleşen vektörler  $\mathbf{a}_i$  ve  $\mathbf{b}_i$ , kanonik korelasyon değerini maksimize eden  $\mathbf{a}$  ve  $\mathbf{b}$  vektörlerini verir.

$\rho_i^2$  Kanonik Korelasyon katsayısının karesi,  $(\mathbf{a}_1, \mathbf{b}_1)$  baz vektör ya da kanonik ağırlıklar olarak adlandırılmaktadır.  $(\mathbf{U}, \mathbf{V})$  kanonik sonuç olarak adlandırılmaktadır.  $\rho_i^2$  bileşenleri azalan derecede sıralanmaktadır. İleriki üç alt bölümde, Kanonik Korelasyon Analizi ile ilgili özellikler maddeler halinde verilmektedir.

#### 4.1.1 Kanonik Korelasyon Katsayılarının Özellikleri

- Kanonik Korelasyon katsayıları boyutsuzdurlar, bunun sonucu olarak doğrusal dönüşümlerde değişmezler [30].
- Kanonik Korelasyon katsayıları  $[-1, +1]$  aralığında bulunurlar.
- $\rho_1^2, \dots, \rho_k^2$   $X$  ile  $Y$  arasındaki korelasyon oranlarını vermektedir.

#### 4.1.2 Kanonik Ağırlıkların Özellikleri

- Ağırlıkların büyüklükleri ve işaretleri, etkilerinin ve sonuçlarının bir göstergesidir.
- Standart hale getirilen ağırlıklar birimsiz olup,  $X$  ve  $Y$  matrislerinin sıfır ortalamalı ve birim değışinti haline getirilmesiyle elde edilirler.
- $X$  ve  $Y$  matrislerindeki değişkenlerin silinmesi kalan ağırlıklara büyük etki eder.
- Veri kümesinde aynı veriden birden fazla olursa yada yetersiz örnek sayısı ve ölçüm hatası olduğu durumlarda,  $\mathbf{a}$  ve  $\mathbf{b}$  ağırlıkları kararsız hale gelebilir [30].

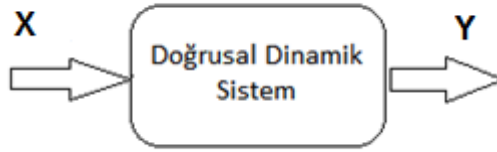
#### 4.1.3 Kanonik Değişken Özellikleri

Kanonik değişkenler gözlemler arasındaki doğrusal kombinasyonları içerir.

- Kanonik değişkenler boyutsuzdurlar.
- Değişkenler arasındaki korelasyon ve değişken özelliklerini bulmak amacıyla değişken çiftleri çizdirilebilir.
- Bozuk kanonik ağırlıklar yanlış analizlere neden olabileceğinden, verilerin ilk önce sıfır ortalamaya sahip hale getirilmeleri gerekmektedir [30].

## 4.2 Kanonik Korelasyon Analizi Yöntemi ile Sistem Tanıma

Kanonik Korelasyon Analizi iki veri kümesi arasında doğrusal ifade tanımlamada kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, Kanonik Korelasyon Analizi problemi doğrusal sistem tanıma amacı ile kullanılmıştır.  $X$  ve  $Y$  zaman serilerinin doğrusal bir sistemin girdisi ve çıktısı olduğu varsayılmıştır. Doğrusal sistemin genel yapısı Şekil 4.2 ile verilmiştir.



**Şekil 4.2** Doğrusal Dinamik Sistemin Genel İfadesi

Ayrık zamanlı doğrusal bir sistem Eş. (4.6)'daki gibi bir fark denklemi olarak ifade edilebilir. Nedensel bir sistemi modelleme açısından,  $N = M$  ve  $b_N \neq 0$  olarak alınacaktır.

$$\sum_{k=0}^N a_k x[n+k] = \sum_{k=0}^M b_k y[n+k] \quad (4.6)$$

Eş. (4.6)'ya göre  $x$  ve  $y$  vektörleri Eş. (4.7)'deki gibi tanımlanır ve bu iki veri seti, Kanonik Korelasyon Analizi'ne tabi tutulduğunda, veri setleri arasındaki maksimum korelasyon değerini belirleyen doğrusal bir fark denkleminin uygun  $a = [a_0 a_1 \dots a_N]^T$  ve  $b = [b_0 b_1 \dots a_N]^T$  yapılarındaki vektörler ile tanımlanmaktadır.

$$x = \begin{bmatrix} x[n] \\ x[n+1] \\ \vdots \\ x[n+N] \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y[n] \\ y[n+1] \\ \vdots \\ y[n+N] \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

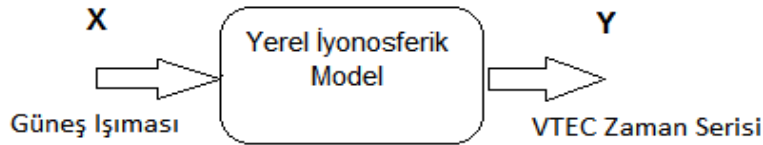
Eş. (4.6) şeklinde tanımlanan fark denklemi ise,  $x$  ve  $y$  arasındaki ilişkiyi Kanonik Korelasyon Analizi espirisi içinde en uygun olarak yakalayan doğrusal model olacaktır.

Bu çalışmada, belirli bir istasyona ait VTEC zaman serisi  $Y$  olarak alınmış,  $X$  için ise güneş ışımalarını modellemek üzere tepe noktası yerel öğle zamanı ile senkronize edilmiş bir sinüsoid sinyal temel alınmıştır.

#### 4.2.1 Güneş Eşzamanlı İyonosferik Model

VTEC zaman serilerinin yapısına bakıldığında, güneşin en tepede olduğu öğle vakitlerinde, gün içerisindeki en yüksek elektron yoğunluğunda oldukları gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, iyonosferi uyaran en büyük etkenin Güneş olduğu varsayılarak, VTEC zaman serilerini oluşturan girdilerin kaynağı olarak Güneş seçildiğinde, VTEC zaman serilerinin dinamiğini tanımlayacak olan sisteminin daha doğru bir şekilde ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Dolayısıyla, tanımlanacak olan sistemin giriş verisi olarak güneşin en tepede olduğu değer olan yerel öğle zamanına göre tepe noktaları senkronize edilmiş sinüsoid yapıda zaman serisi oluşturulmuştur. Tanımlanacak olan sistemin çıkış verisi olarak da VTEC zaman serileri alınmıştır. Güneş ışınımı kaynaklı dinamik sistem modelinin genel yapısı Şekil 4.3 ile verilmiştir.



**Şekil 4.3** Güneş Işınımı Kaynaklı Dinamik Sistem Modeli

Güneşin en tepede olduğu zamanı veren yerel öğle zaman bilgisi UTC zamanına göre elde edilmiştir.

##### 4.2.1.1 Yerel Öğle Zamanı Bilgisi ve Hesaplama Yöntemi

Yerel öğle zamanı, gün içerisinde güneşin en tepede olduğu zaman olarak tanımlanmaktadır. Yerel öğle zamanı dünyanın geoit yapısından dolayı konuma göre değişmektedir. Aynı zamanda dünyanın güneş etrafındaki yörüngesinden dolayı dünyadaki belirli bir konuma gelen güneş açıları yıl içerisinde değiştiğinden, yerel öğle zamanı zamana göre de değişmektedir.

Yerel öğle zamanı, tarih, enlem ve boylam bilgileriyle hesaplanabilmektedir. Hesaplama için ilgili zamana ait güneşin doğuş ve batış saatleri hesaplanarak, doğuş ile batış saatleri arasındaki farkın yarısının doğuş saatine eklenmesi gerekmektedir. Güneş'in doğuş ve batış saatlerini enlem, boylam ve zamana göre hesaplayan algoritma United States Naval Observatory tarafından geliştirilmiştir [42]. Bu algoritma kullanılarak güneşin en tepede olduğu zaman değerleri UTC zamanında elde edilmiştir. Algoritmanın yapısını özetleyen akış diyagramı Şekil 4.4 ile verilmektedir.

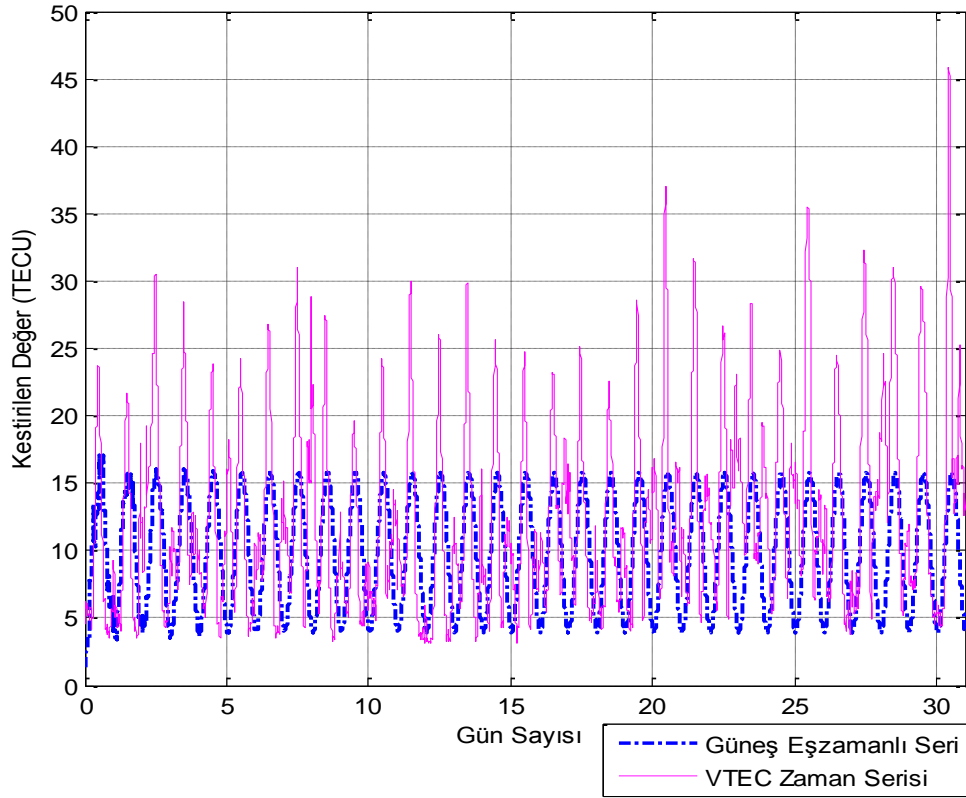


**Şekil 4.4** Yerel Öğle Zamanı Hesaplaması

Elde edilen zaman değerleri, verinin örneklenme periyodu olan 2.5 dakika göz önüne alınarak indeks haline çevrilmiştir. Böylece yerel öğle zamanına göre elde edilen indeks değeri verinin tepe indeks değerlerini oluşturmaktadır. Yerel öğle zamanı değerleri oluşturulurken yapılan gözlemlere göre bir ayda oluşan yerel öğle zamanları

indeks değerleri aynı olup, zaman bakımından yalnızca saniyeler bazında değişmektedir.

Örnekleme periyodu 2.5 dakika olduğundan arada bulunan saniyeler bazındaki fark göz önüne alınmamıştır. Dolayısıyla periyodu bir günlük VTEC verisine uyan, tepe değerleri yerel öğle zamanı indeks değerleri kadar kaydırılmış yerel öğle zamanına göre sinüsoid zaman serisi elde edilmiştir. Şekil 4.5 ile elde edilen güneş senkron zaman serisi ile orijinal VTEC zaman serisi gösterilmektedir.



**Şekil 4.5** Kir0 Ocak 2001 Yerel Öğle Zaman Serisi

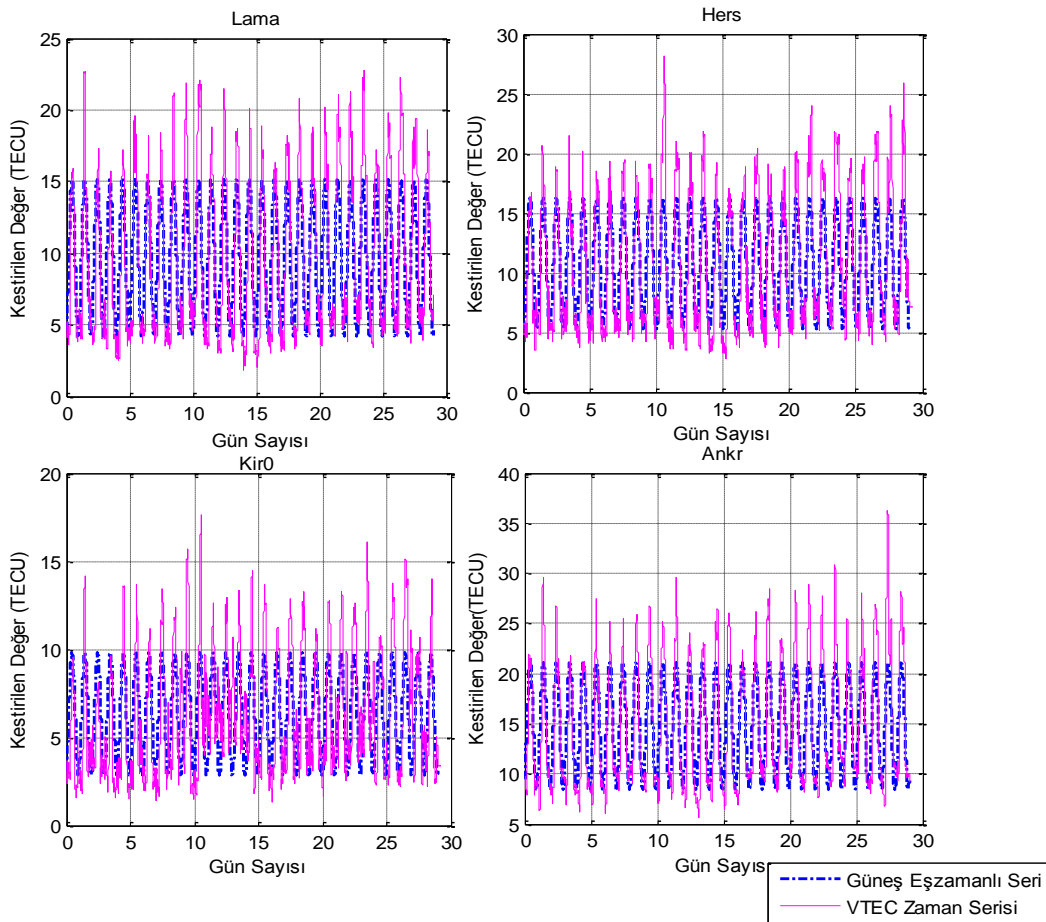
Güneş senkron zaman serisi oluşturulurken kullanılan ifadeler denklem (4.13) ile verilmiştir. Gerçek VTEC zaman serisinin ortalaması olan  $\mu_{VTEC}$  ve standart sapması olan  $\sigma_{VTEC}$  hesaplanarak, kosinüs dalgası yerel öğle zamanı  $t_{yerel}$  gecikme değeri kadar kaydırılmış ve bu değer hesaplanan standart sapma değeri ile çarpılmıştır. Elde edilen veriye de gerçek istasyon VTEC zaman serisinin ortalaması olan  $\mu_{VTEC}$  göreli konum olarak eklenmiştir.  $t_s$  ise zaman serilerinin örnekleme periyodu olup 2.5 dakika olarak alınmıştır.



$$y = \cos\left((t - t_{yerel}) 2\pi t_s\right) \sigma_{VTEC} + \mu_{VTEC} \quad (4.8)$$

#### 4.2.2 Yerel Öğle Zamanı Verisi ile Sistem Tanımlama

Bu bölümde dört farklı istasyonun aynı zamandaki VTEC zaman serilerine ait yerel öğle zamanlarına göre güneş ışınımı kaynaklı zaman serileri oluşturulup, Kanonik Korelasyon yöntemi ile dört farklı sistem modeli elde edilmiştir. Kullanılan istasyon verileri Ankr, Hers, Lama, Kir0 istasyonlarının Şubat 2004 verileridir. Şekil 4.6'da istasyon verilerine ait olan yerel öğle zamanı verilerine göre oluşturulmuş zaman serileri ile orijinal VTEC istasyon zaman serileri verilmektedir. Her dört istasyonda da yerel öğle zamanına göre oluşturulan zaman serileri, orijinal VTEC zaman serileri ile örtüşmektedir.

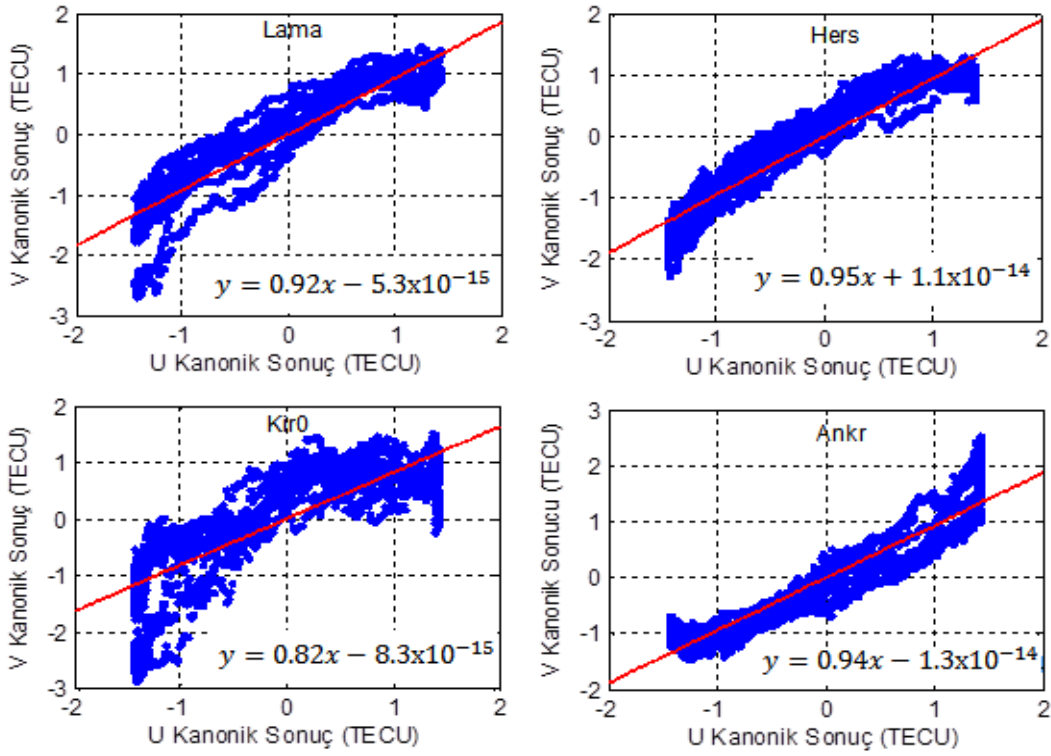


Şekil 4.6 Lama, Kir0, Hers, Ankr Şubat 2004 Yerel Öğle Zaman Serileri

Elde edilen veriler Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi algoritmasına çok boyutlu  $X$  ve  $Y$  matrisleri halinde sokulmuştur.  $X$  giriş verisi yerel öğle zamanlarına göre

oluşturulan sinüsoid zaman serileri olarak,  $Y$  çıkış verisi de istasyonlara ait orijinal VTEC değerleri olarak ele alınmıştır.

$X$  ve  $Y$  verilerinin boyutu 96 örnek yani 4 saatlik veri penceresi olarak alınmıştır. Özet olarak, 4 saatlik yerel öğle zamanına göre oluşturulmuş güneş senkron veriden, 4 saatlik istasyonlara ait orijinal VTEC verileri arasındaki doğrusal sistem bulunmaya çalışılmıştır. Veri penceresi boyutu 1 örnekten 576 örnek yani 1 günlük veri içerecek şekilde değiştirilmiş ancak en iyi sistem çıktısının veri pencere boyutu 96 örnek olduğu zaman çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.7 ile istasyonlara özgü elde edilen sistemlerin eş uzay kümeleri arasındaki doğrusal bağıntılar verilmiştir.

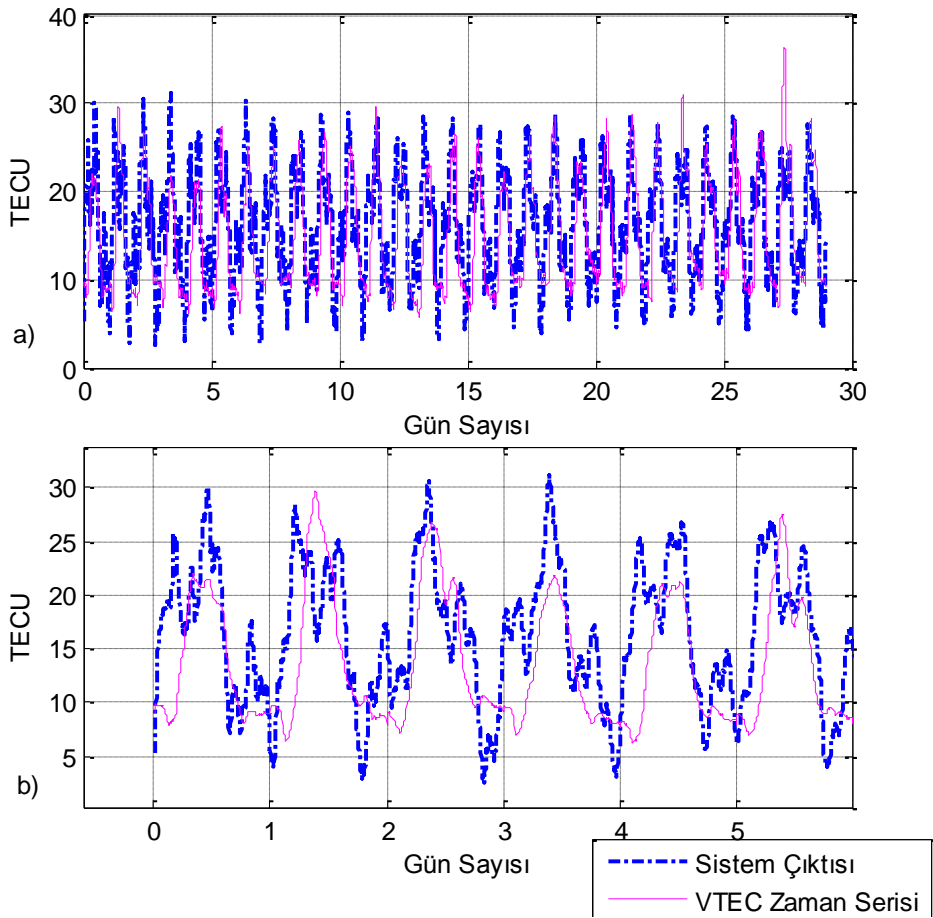


**Şekil 4.7** Lama, Hers, Kir0, Ankr Şubat 2004 U ile V Kanonik Sonuç ilişkileri

Şekil 4.7'de verilen grafiklerde verilen doğrusal yapıdaki matematiksel ifadelerde sistemlere ait olan kanonik katsayılar gözlemlenebilmektedir. Buna göre Lama istasyonu için kanonik katsayı 0.92, Hers istasyonu için 0.95, Kir0 istasyonu için 0.82, Ankr istasyonu için 0.94 olarak elde edilmiştir. Bulunan kanonik katsayı değeri bire ne kadar yakın olursa, eş uzaylar birbirine o kadar yakın olacaktır. Kir0 istasyonu yüksek enlem istasyonudur. Doğrusal modeller orta enlem istasyonlarını daha iyi modellemektedir.

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile bulunan  $A$  ve  $B$  parametreleri ile tanımlanmış olan Eş. (4.9) ile verilen  $H(z)$  transfer fonksiyonu yapısı oluşturularak, yerel öğle zamanına göre oluşturulan güneş senkron zaman serisi oluşturulan dinamik sistem modelinden geçirilmiştir. Bu çalışma ile, elde edilen transfer fonksiyonunun iyonosfer dinamiğini modellediği varsayılarak, giriş verisinin etkisi olarak çıkış verisinin nasıl değiştiğini gözlemlemek amaçlanmıştır. Yerel öğle zamanına göre oluşturulmuş sinüsoid yapıdaki zaman serileri oluşturulan dinamik sistem modelinden geçirilerek, orijinal VTEC zaman serileri elde edilmiştir.

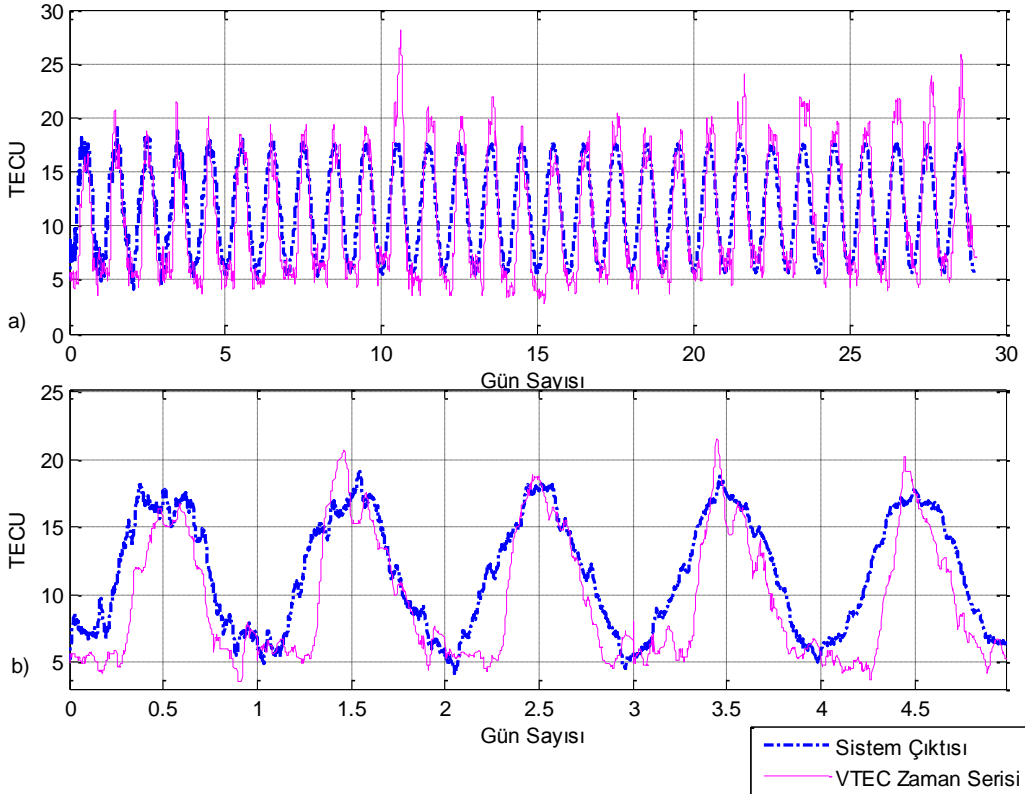
Ankr istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait Güneş-VTEC dinamiğini modelleyen sistemin sonuçları ile orijinal istasyon verisi sonuçları Şekil 4.8 ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.8a'da verilen grafik bütün veriyi gösterirken, Şekil 4.8b'deki grafik verinin yakından gözükten halini göstermektedir.



**Şekil 4.8** Ankr Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları

Şekil 4.8 ile verilen grafiğe göre, yerel öğle zamanına göre üretilen verinin sistem modeline girdi oluşturularak elde edilen sistem çıkışının orijinal veriye genel olarak benzediği gözlemlenmiştir. Orijinal VTEC zaman serisindeki salınımlar tam olarak elde edilemese de sistemin davranışına genel olarak yakın sonuç elde edilmiştir. Sistemi tanımlamada kullanılan kanonik katsayı  $\rho$  değeri 0.9390 olarak elde edilmiştir.

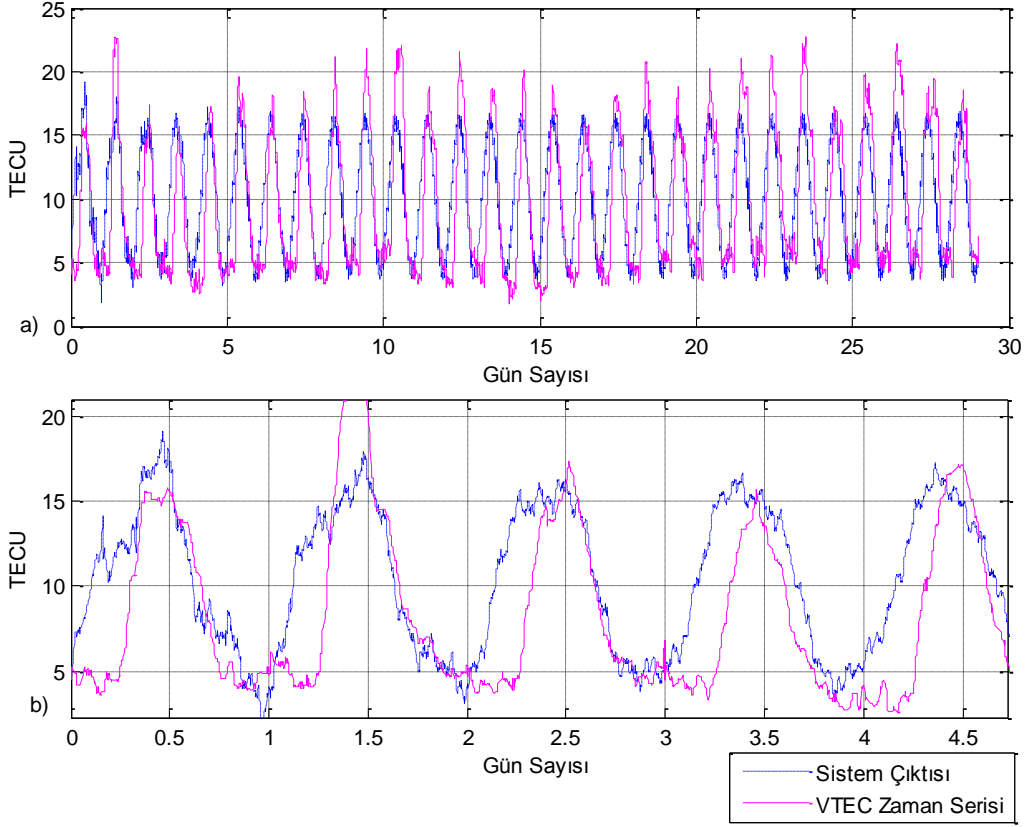
Hers istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serilerine ait Güneş-VTEC dinamiğini modelleyen sistemin sonuçları ile orijinal istasyon verisi sonuçları Şekil 4.9 ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9a'da verilen grafik bütün veriyi gösterirken, Şekil 4.9b'deki grafik verinin yakından gözükten halini göstermektedir.



**Şekil 4.9** Hers Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları

Şekil 4.9'da verilen grafiğe göre yine gerçek VTEC zaman serisine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sistem modeli doğrusal olarak tanımlandığından, sistem sonucu ilk zaman değerlerinde daha salınımlı bir hale sahip iken, son zamanlara doğru daha az salınımlı daha doğrusal hale gelmektedir. Sistemi tanımlamada kullanılan kanonik katsayı  $\rho$  değeri 0.9507 olarak elde edilmiştir.

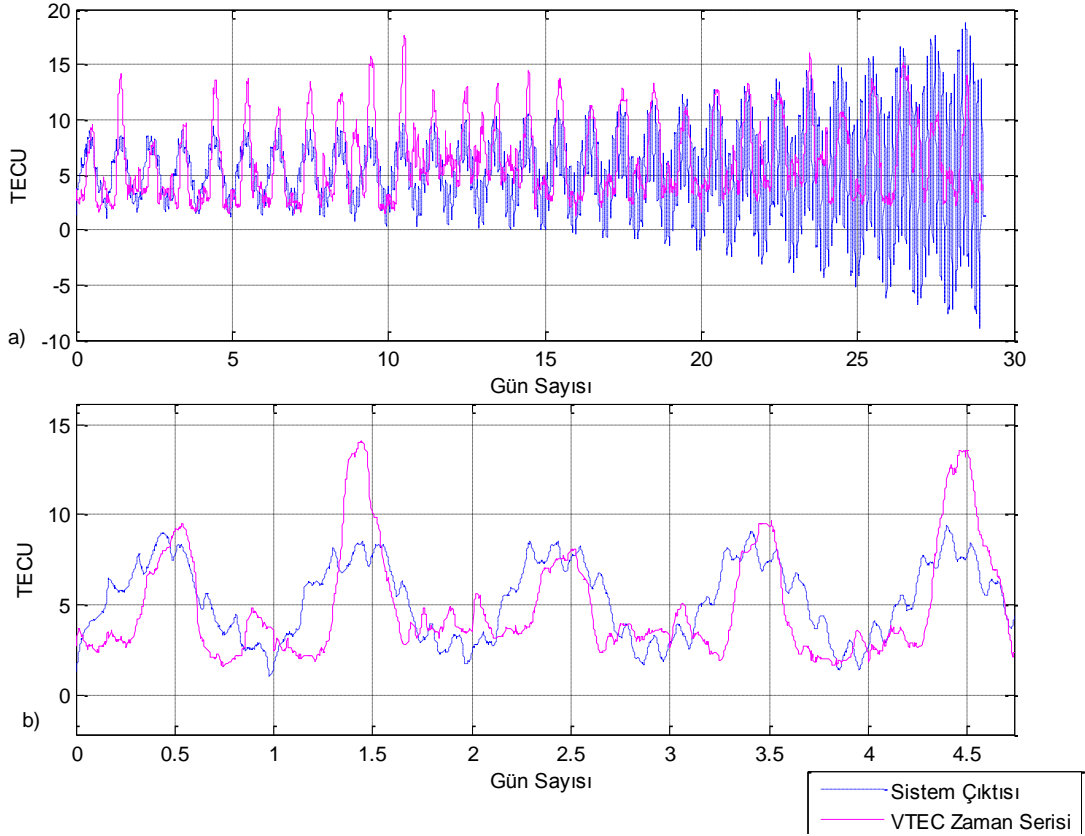
Lama istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serilerine ait Güneş-VTEC dinamiğini modelleyen sistemin sonuçları ile gerçek VTEC verisi sonuçları Şekil 4.10'da karşılaştırılmıştır. Şekil 4.10a'da verilen grafik bütün veriyi gösterirken, Şekil 4.10b'deki grafik verinin yakından gözükken halini göstermektedir.



**Şekil 4.10** Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları

Şekil 4.10 ile verilen grafiğe göre, Lama istasyonu için de diğer istasyonlar gibi aynı sonuçlar gözlenmiştir. Yine son zamanlara göre sistem modelinin doğrusal yapısından dolayı, daha az salınımlı bir davranış gözlemlenmiştir. Sistemi tanımlamada kullanılan kanonik katsayı  $\rho$  değeri 0.9205 olarak elde edilmiştir.

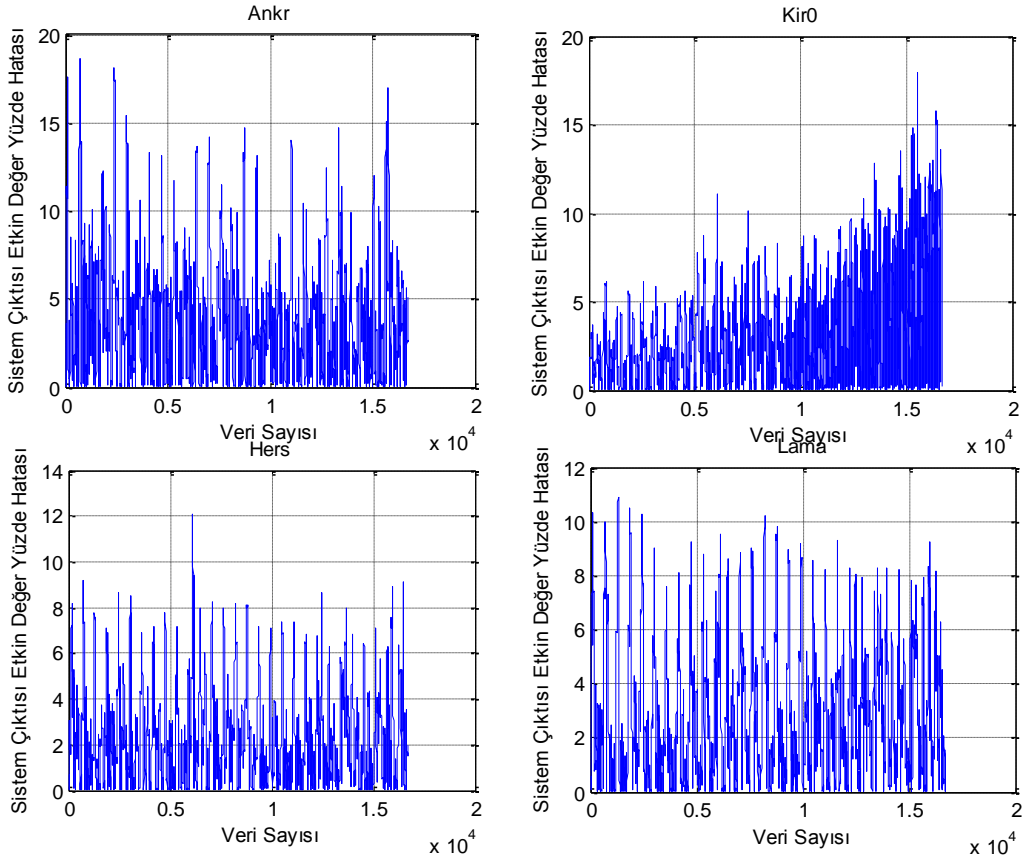
Kir0 istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serilerine ait Güneş-VTEC dinamiğini modelleyen sistemin sonuçları ile orijinal istasyon verisi sonuçları Şekil 4.11'de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.11a'da verilen ilk grafik bütün veriyi gösterirken, Şekil 4.11b'deki grafik verinin yakından gözükken halini göstermektedir.



**Şekil 4.11** Kir0 Şubat 2004 Aktarım İşlevi Sistem Modeli Çıktıları

Şekil 4.11 ile verilen grafiğe göre, Kir0 istasyonu için de orijinal VTEC zaman serisinin genel yapısına uygun sonuç elde edilmiştir. Ancak bu istasyondaki sistem çıkışı, son zamanlarda kararsız bir yapıya dönüşüp, çok fazla salınımlı hale gelmektedir. Bunun nedeni, elde edilen doğrusal sistemin gerçek VTEC zaman serisinin yapısını diğer istasyonlar gibi iyi tanımlayamamasıdır. Sonuç olarak, doğrusal sistem uygun tanımlanamadığından sistem sonucu kararsız hale gelmiştir. Sistemi tanımlamada kullanılan kanonik katsayı  $\rho$  değeri 0.8152 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.12 ile aktarım işlevi modellerine ait sistem sonuçları ile orijinal VTEC zaman serileri arasındaki yüzde hatalar verilmektedir. Buna göre, Ankr Şubat 2004 zaman serisine göre elde edilen yüzdelik hata %35.66, Hers Şubat 2004 zaman serisine göre elde edilen yüzdelik hata % 30.74, Lama Şubat 2004 zaman serisine göre elde edilen yüzdelik hata % 43.47 ve Kir0 Şubat 2004 zaman serisine göre elde edilen yüzdelik hata da % 62.43 mertebelerinde elde edilmiştir.



**Şekil 4.12** Ankr, Kir0, Hers, Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Hata Yüzdeleri

Elde edilen aktarım işlevi modeli sistem sonuç verilerine bakıldığında ayın başlangıç günlerinde küçük salınımlar bile gözlemlenebilirken, ayın son günlerine doğru sistemin girişine verilen yerel öğle zamanına göre elde edilen veriye yakın sonuçlar elde edilmektedir. Bunun nedeni, Kanonik Korelasyon Analizi yönteminin sistemi doğrusal bir yapıda tanımlamasıdır. Doğrusal sistemlerde girişte verilen verinin özelliği, çıkışta gözlemlenen veride de olmaktadır.

Elde edilen diğer bir sonuç ise, tahmin hata yüzdesi fazla olan sistemlerde bulunan  $\rho$  değerinin küçük olmasıdır.  $\rho$  değeri, Kanonik Korelasyon Analizi yönteminde tanımlanan doğrusal eş uzayların korelasyon değeri olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla korelasyon değeri ne kadar yüksek olursa, tanımlanan iki uzay birbirlerine o kadar yakın olmaktadır.

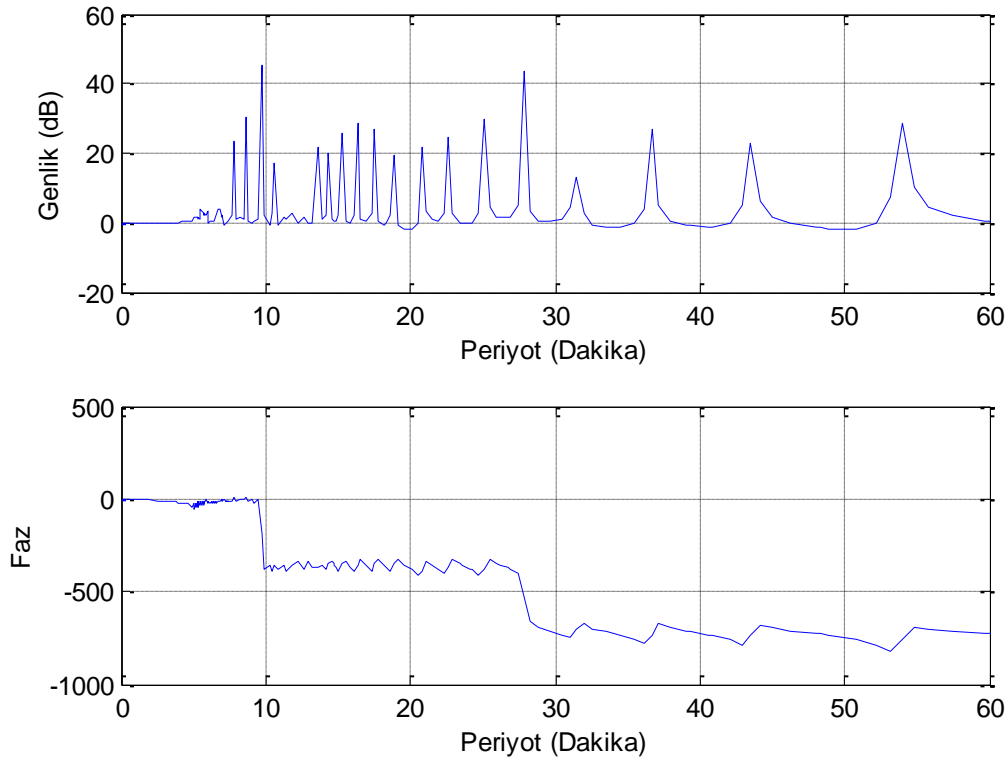
Çizelge 3.1 ile verilen istasyonlar için elde edilen ayırık zamandaki sistemlerin sürekli zamana geçirilmesi için ayırık zamanda tanımlanan transfer fonksiyonunun kutup ve

sıfır değerlerine aşağıdaki işlem uygulanarak sürekli zamandaki sistemin kutup ve sıfır değerleri elde edilmektedir. (Kutup-Sıfır Eşleme Yöntemi) Bu dönüşümü sağlamak için Eş. (4.9) kullanılmaktadır.  $T_s$  sistemin örneklenme periyodu olup 2.5 dakika olarak alınmaktadır [15].

$$s = \frac{\ln(z)}{T_s} \quad (4.9)$$

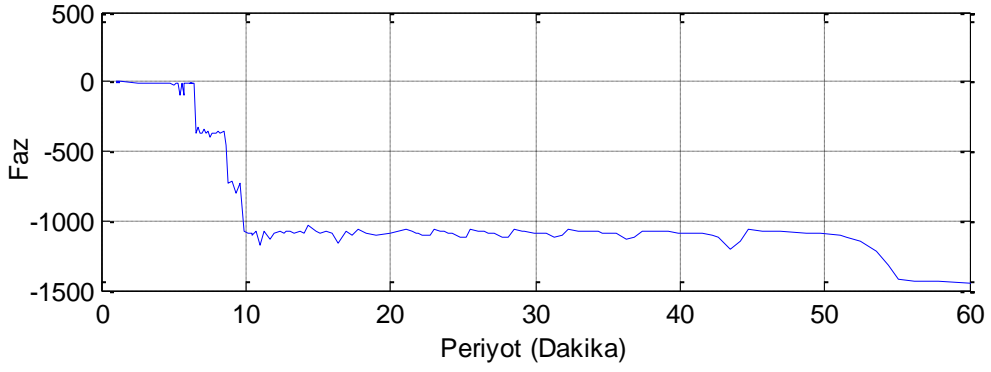
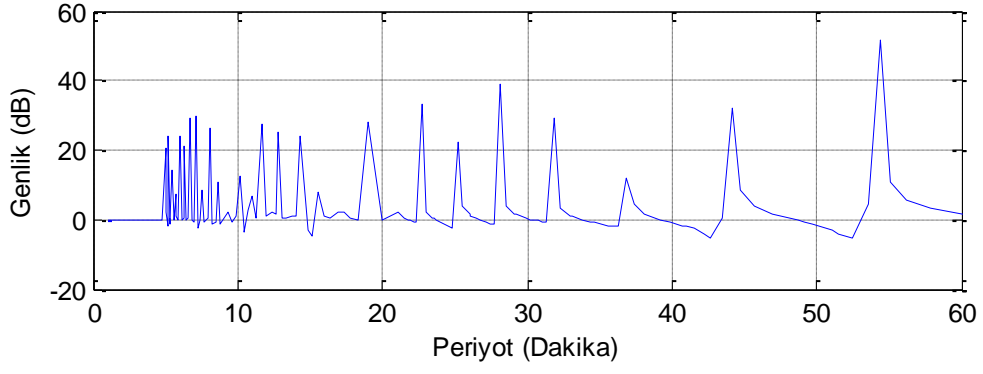
Elde edilen sistemde kullanılan pencere büyüklüğü 96 örnek içerdiğinden, sistemin kutup ve sıfır sayıları da 95 olmaktadır. Dolayısıyla, elde edilen sistem 95. dereceden doğrusal bir matematiksel ifade ile tanımlanabilmektedir.

Sürekli zamanda elde edilen Güneş-VTEC dinamiğini içeren sistemlerin Bode çizimleri, sistemlerin sahip olduğu dinamik davranışların izlenebilmesi amacıyla elde edilip, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 ile verilmektedir.

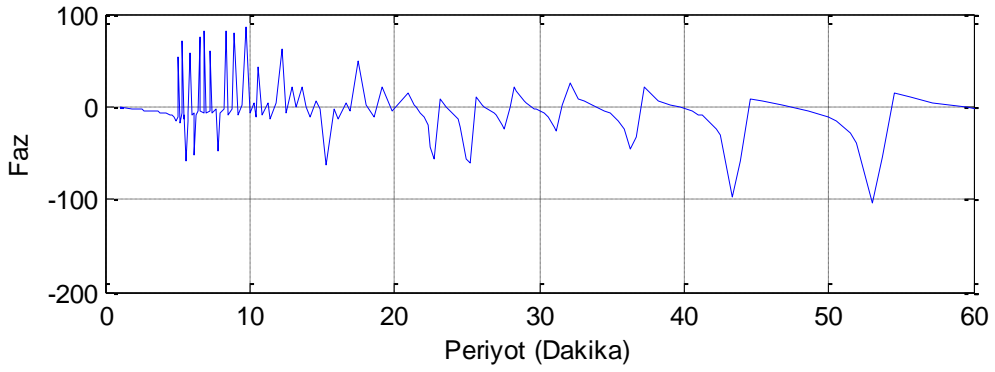
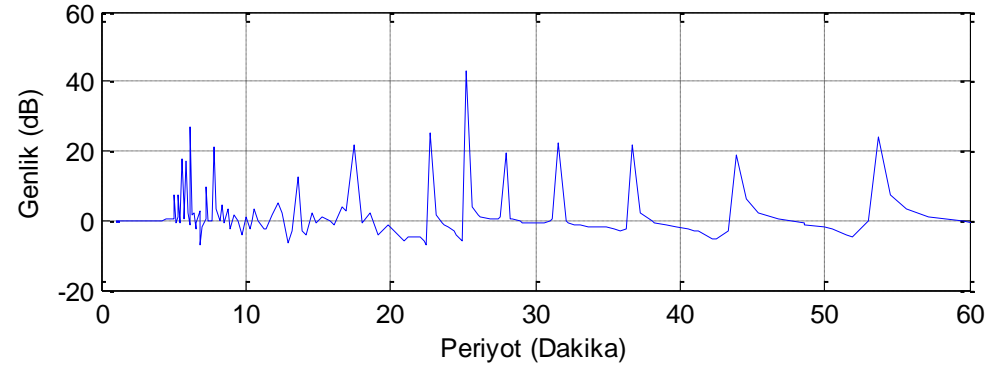


**Şekil 4.13** Lama Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği

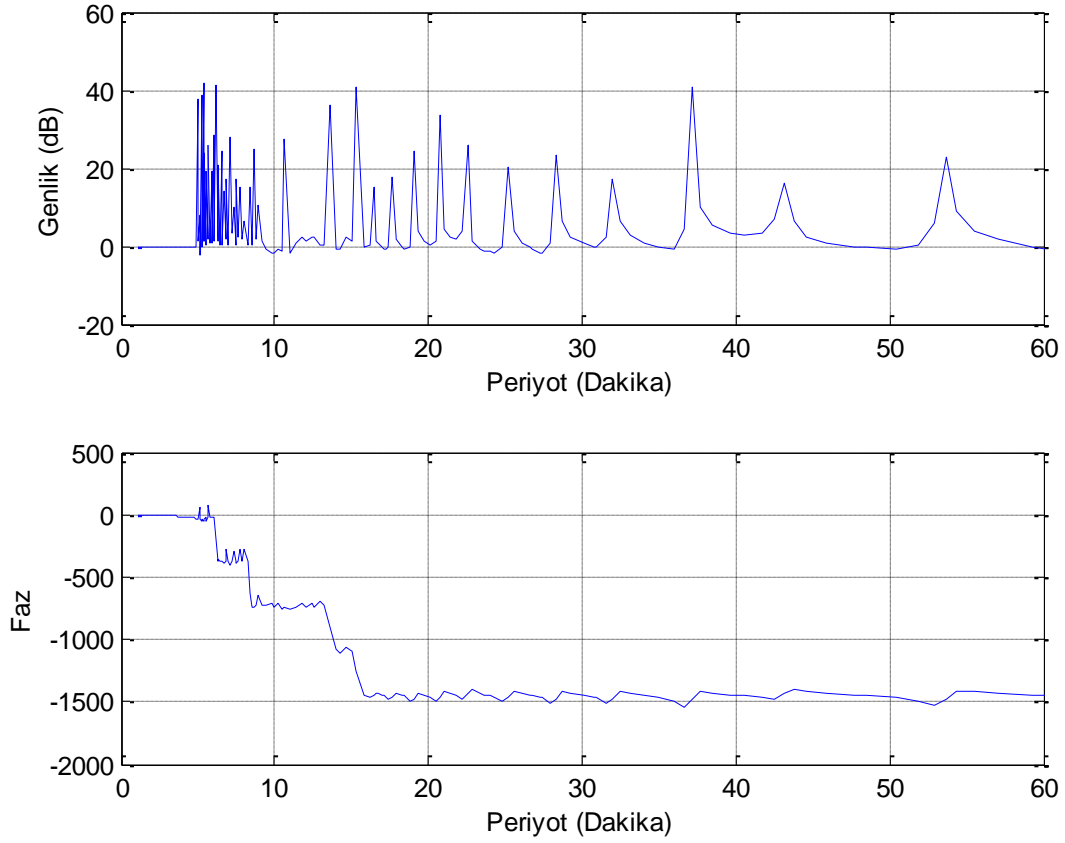




**Şekil 4.14** Kir0 Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği



**Şekil 4.15** Hers Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği



**Şekil 4.16** Ankr Şubat 2004 Aktarım İşlevi Modeli Bode Çizeneği

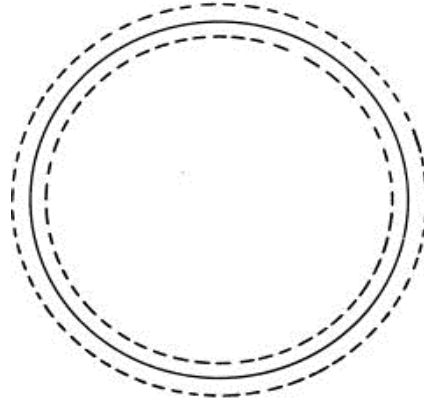
Bode genlik çizeneklerinde bulunan tepe değerleri sönümlenme değeri düşük olan rezonans periyotlarını göstermektedir. Böylece Bode genlik çizeneklerinden yararlanılarak sistemin doğal frekansları ve bu frekanslara ait olan periyotları gözlemleyebiliriz. Bode genlik çizeneklerindeki tepe değerlerine göre elde edilen periyotlar her sistem için ayrı ayrı bulunmuştur.

Elde edilen periyot değerleri dünyadaki yer kabuğunun hareketleri kaynaklı olan periyotları olarak bilinen Dünya'nın serbest titreşim modları ile yakın değerler olarak gözlemlendiğinden, elde edilen periyotlar bu periyot değerleri ile eşleştirilmiştir.

### 4.3 Dünya'nın Sismik Titreşim Modları

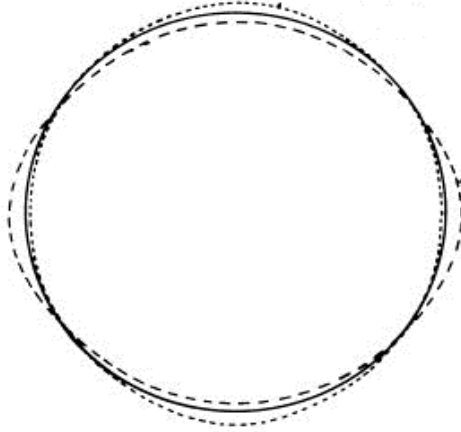
Yerkürenin sismik hareketlerinden dolayı, Dünya elastik bir yapıya sahip olmaktadır. Yerküredeki sismik bir harekete bağlı olarak gelişen, birden çok doğal frekansa sahip titreşim meydana gelmektedir. Oluşan doğal frekanslar Dünya'nın iç yapısı ve elastik özelliklerine göre belirlenmektedir. Dünyanın serbest salınımları, dünyanın dinamik yapısının dahili ve harici kuvvetlere karşı verdiği doğal tepkilerden oluşmaktadır. Dünyanın sismik titreşim modları küresel, burulma ve radyal olmak üzere üç kategoride incelenmektedir. Titreşim modları hareket haline ve derecelerine bağlı olarak değişik türde modlar içermektedirler [28].

Radyal titreşim modu, Dünyanın sahip olduğu en basit titreşim modlarından biridir. Dünyanın şekline göre hareket şekli küresel bir halde olup, bütün parçacıklar aynı yönde aynı şekilde davranmaktadırlar. Radyal titreşim modunu tanımlayan model Şekil 4.17 ile verilmiştir [28].



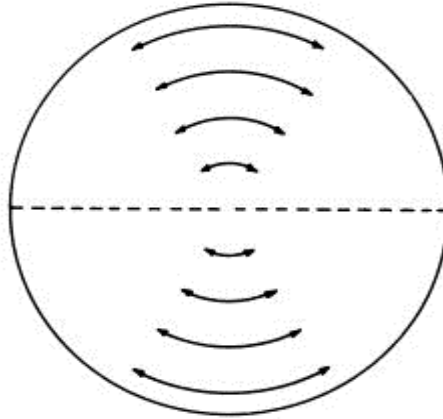
**Şekil 4.17** Radyal Titreşim Modu [28]

Küresel titreşim modu, dış kuvvetlerin etki ettiği noktadan geçen eksen merkez olarak küresel hareket oluşturan titreşim modu olarak tanımlanmaktadır. Yerçekimi ve yoğunluğa bağlı olarak hareketlerin gücü değişmektedir. Küresel titreşim modunu tanımlayan hareket modeli Şekil 4.18 ile verilmektedir [22].



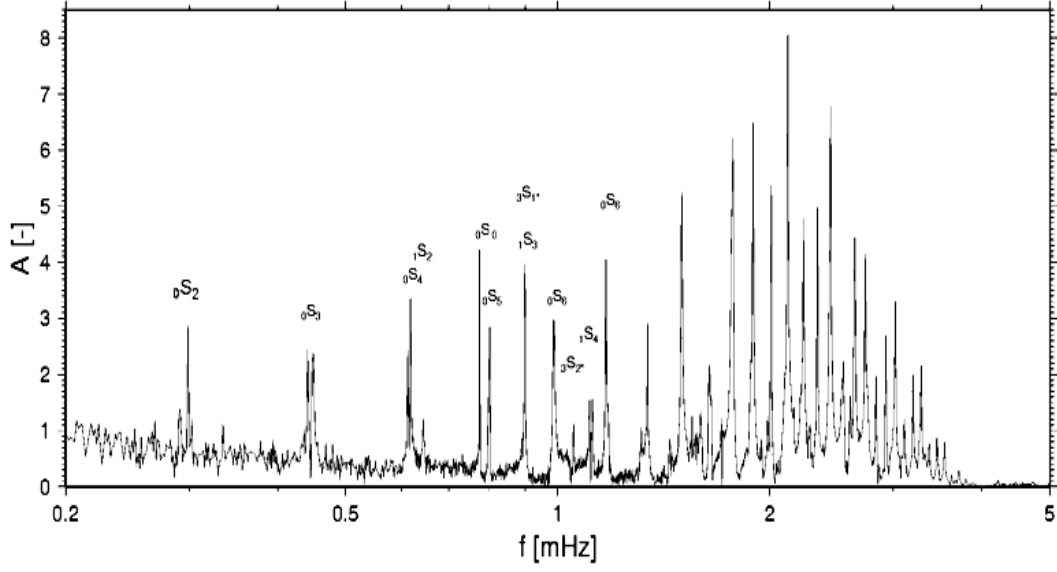
**Şekil 4.18** Küresel Titreşim Modları [28]

Burulma titreşim modları ise, küresel modlarının tam aksine olan enleme bağlı olarak değişen hareketler olarak tanımlanmaktadır. Titreşim dereceleriyle orantılı olarak hareketler enlemsel bölgelere bölünmektedir. Burulma titreşim hareket modunu tanımlayan hareket modeli Şekil 4.19 ile verilmektedir.



**Şekil 4.19** Burulma Titreşim Modları [28]

Hareket türlerine göre değişen bu titreşim modları, günümüze kadar sismik ölçümlerle ve yerküreyi etkileyen büyük depremlerden sonra ölçülmüşlerdir. Titreşim modlarının oluşması için bu titreşim modlarını tetikleyen kuvvetler olması gerektiği düşünülmektedir. Dünya'nın serbest titreşim periyotlarına örnek olarak Şekil 4.20 verilmiştir [28].



**Şekil 4.20** Dünya'nın Serbest Titreşim Periyotları Genel Yapısı [22]

Titreşim modlarının sismik ölçümlerle periyotları hesaplanmıştır. Ölçülen periyotlar arasında en baskın periyot 54 dakika olarak ölçülmüştür [39]. Titreşim modlarına ait periyot değerleri Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Dünya'nın Serbest Titreşim Periyotları [22,39]

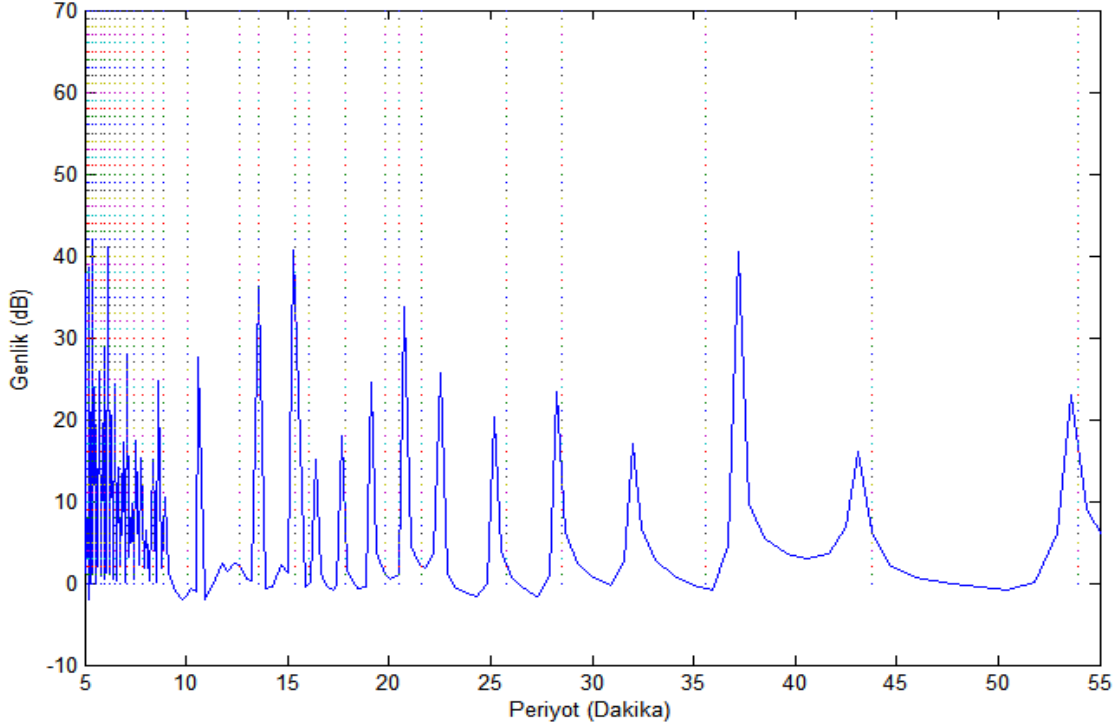
Titreşim Modu	Periyot
${}_0S_2$	53.9 dk,53.47 dk
${}_0T_2$	43.8 dk,43.6 dk
${}_0S_3$	35.6 dk,35.33 dk
${}_0T_3$	28.5 dk,28.22 dk
${}_0S_4$	25.7 dk,25.55 dk
${}_0T_4$	21.6 dk
${}_0S_0$	20.5 dk
${}_0S_5$	19.81 dk,19.66 dk
${}_0T_5$	17.8 dk
${}_0S_6$	16.03 dk,15.92 dk
${}_0T_6$	15.35 dk
${}_0S_7,{}_0T_7$	13.48 dk, 13.57dk
${}_1T_2$	12.56 dk
${}_0T_8$	12.22 dk
${}_0S_8$	11.72 dk
${}_1T_3$	11.52 dk
${}_0T_9$	11.15 dk
${}_0S_9$	10.57 dk
${}_1T_4$	10.45 dk
${}_0T_{10}$	10.28 dk
${}_1S_0$	10.1 dk
${}_0S_{10}$	9.65 dk
${}_0T_{11}$	9.55 dk
${}_1T_5$	9.47 dk
${}_0T_{12}$	8.93 dk
${}_0S_{11}$	8.91dk
${}_0S_{12},{}_0T_{13}$	8.37 dk,8.4 dk
${}_0T_{14}$	7.93 dk
${}_0S_{13}$	7.89 dk
${}_0S_{14}$	7.47 dk
${}_0S_{15}$	7.10 dk
${}_0S_{17}$	6.78 dk
${}_0T_{18}$	6.52 dk
${}_0S_{18}$	6.48 dk
${}_1T_{10}$	6.32 dk
${}_0S_{19}$	6.23 dk
${}_0S_{20},{}_0T_{20}$	6.01 dk,5.99 dk
${}_0S_{21}$	5.79 dk
${}_0S_{22}$	5.59 dk
${}_0S_{23}$	5.42 dk
${}_0S_{24}$	5.25 dk
${}_0S_{25},{}_1T_{14}$	5.101 dk,5.09 dk
${}_0T_{25}$	5.00 dk

#### **4.4 İyonosferik Rezonansların Dünya'nın Sismik Titreşim Modları ile Eşleştirilmesi**

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile bulunan Güneş-VTEC dinamiğini modelleyen sistem modeli bulunduğundan sonra, sistem modelini tanımlayan ayrık zaman transfer fonksiyonu sürekli zamana geçirilmiş ve böylece sistemin sürekli zamandaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Sürekli zaman sistem modelinin davranışını gözlemleyebilmek amacıyla sisteme ait Bode çizimlerini çizdirilmiştir.

Ankr, Hers, Lama ve Kir0 istasyonlarının Şubat 2004 verilerine ait dinamik modellerin Bode diyagramları Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 ile verilmektedir. Gözlemlenen Bode genlik çizimlerine baktığımızda belli periyot değerlerinde tepe değerleri görülmektedir. Bu tepe değerleri, o sisteme ait rezonans frekanslarını vermektedir.

Gözlemlenen rezonans frekansları Dünya'nın serbest sismik titreşim modlarının periyot değerlerine çok yakın gözlemlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen rezonans frekansları Dünya'nın serbest titreşim modları periyot değerleriyle eşleştirilmeye çalışılmıştır. Eşleştirilen periyot değerleri ve eşleştirilen periyot çiftleri arasındaki hatalar Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 ile verilmektedir.



**Şekil 4.21** Ankr Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği

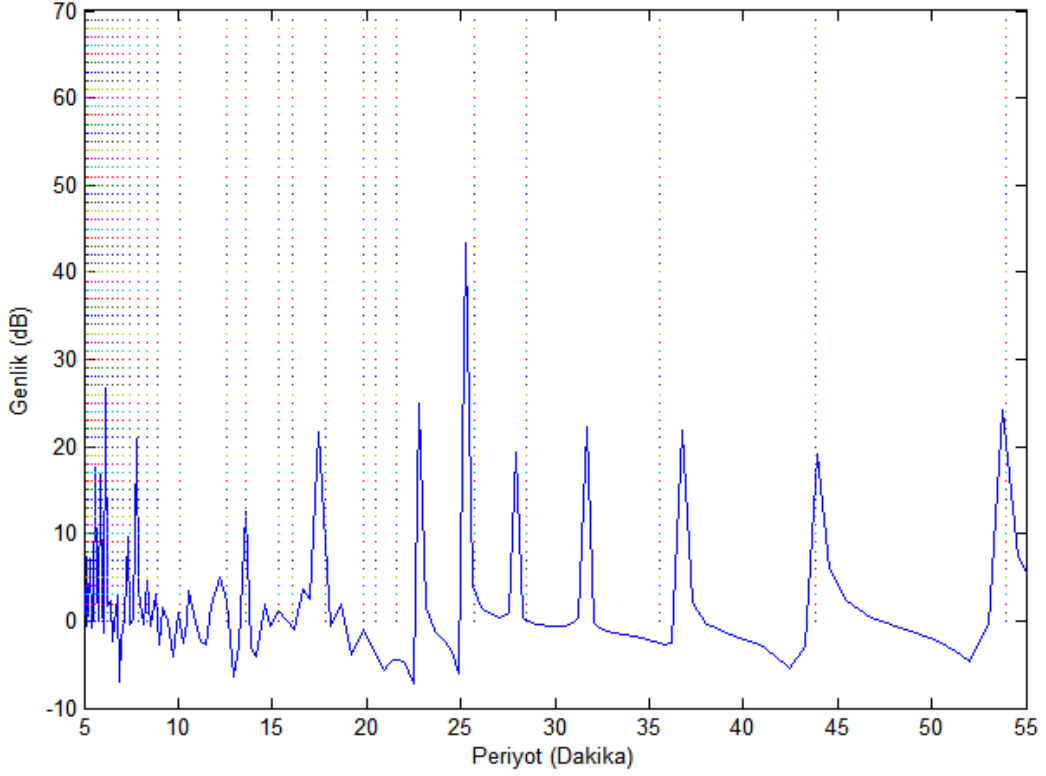
Şekil 4.21 ile verilen Bode genlik çizeneğine göre, Ankr istasyonu Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait güneş senkron dinamik model rezonans periyotları görülmektedir. Güneş senkron dinamik modelin rezonans periyotların 5 ile 54 dakika zaman aralığında elde edilmiştir. Grafikten elde edilen diğer bir sonuç ise, düşük zaman değerlerinde daha çok periyot gözlemlenirken, yüksek zamana sahip periyotların daha seyrek olmasıdır. Buna göre, güneş senkron dinamik modelde yüksek periyotların daha az bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.2 ile verilen sonuçlara göre, dünyanın sismik titreşim periyotları ile dinamik modelin rezonans periyotlarının çoğu örtüşmektedir. Elde edilen rezonans periyotlarından 53.629 dakika, 28.281 dakika, 17.654 dakika, 15.310 dakika, 13.561 dakika, 8.96 dakika, 8.33 dakika, 6.16 dakika, 6.01 dakika, 5.59 dakika, 5.49 dakika, 5.22 dakika, 5.107 dakikalık periyotlar %1'in altında örtüşmekte olup, 7.103 dakika ve 6.50 dakikalık periyotlar %0.1'in altında örtüşmektedir.



**Çizelge 4.2** Ankr Şubat 2004 VTEC Periyotların  
Dünya Serbest Titreşim Modları ile Eşleştirilmesi

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Hata Yüzdesi
	Sembol	Periyot		
527.045=8.78 sa				
184.936=3.08 sa				
104.903=1.74 sa				
71.4809=1.19 sa				
53.629	${}_0S_2$	53.9	0.2701	%0.50
43.130	${}_0T_2$	43.8	0.6693	%1.52
37.205	${}_0S_3$	35.6	-1.6058	%4.51
31.990				
28.281	${}_0T_3$	28.5	0.2189	%0.76
25.181	${}_0S_4$	25.7	0.5184	%2.01
22.554	${}_0T_4$	21.6	-0.9544	%4.41
20.754	${}_0S_0$	20.5	-0.2540	%1.24
19.111	${}_0S_5$	19.81	0.6983	%3.52
17.654	${}_0T_5$	17.8	0.1458	%0.81
16.404	${}_0S_6$	16.03	-0.3748	%2.33
15.310	${}_0T_6$	15.35	0.0396	%0.25
13.561	${}_0S_7, {}_0T_7$	13.48, 13.57	0.0087	%0.06
11.783	${}_1T_2$	12.6	0.8168	%6.48
10.574	${}_1S_0$	10.1	-0.4749	%4.70
8.962	${}_0S_{11}$	8.91	-0.0524	%0.58
8.641				
8.333	${}_0S_{12}$	8.37	0.0366	%0.43
8.050				
7.786	${}_0S_{13}$	7.89	0.1030	%1.30
7.545	${}_0S_{14}$	7.47	-0.0758	%1.01
7.307				
7.103	${}_0S_{15}$	7.10	-0.0038	%0.05
6.884				
6.699	${}_0S_{17}$	6.78	0.0810	%1.19
6.509	${}_0S_{18}$	6.48	-0.0291	%0.04
6.333				
6.169	${}_0S_{19}$	6.23	0.0604	%0.96
6.016	${}_0S_{20}$	6.01	-0.0066	%0.10
5.864				
5.722	${}_0S_{21}$	5.79	0.0671	%1.15
5.596	${}_0S_{22}$	5.59	-0.0062	%0.11
5.461	${}_0S_{23}$	5.42	-0.0412	%0.76
5.344				
5.228	${}_0S_{24}$	5.25	0.0215	%0.41
5.107	${}_0S_{25}$	5.101	-0.0065	%0.12
5.000				



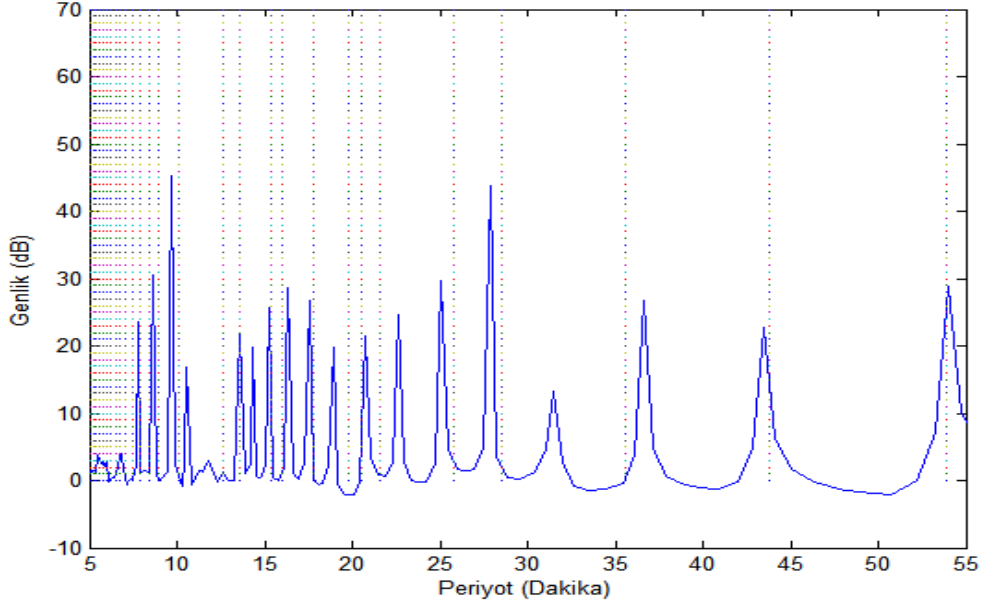
**Şekil 4.22** Hers Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği

Şekil 4.22’de verilen Bode genlik çizeneği göre Hers Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait güneş senkron dinamik modelde de ilk zaman değerlerinde daha çok periyot gözlemlenmiştir. Gözlemlenen periyotların büyüklükleri genel olarak birbirine yakın çıkmaktadır.

Çizelge 4.3 ile verilen dünyanın serbest titreşim modlarına ait periyotlar ile karşılaştırma sonuçlarına göre, 53.775 dakika, 43.936 dakika, 13.552 dakika, 8.33 dakika, 5.55 dakika ve 5.10 dakikalık periyotlar serbest titreşim periyotları ile %1’in altında örtüşürken, 19.809 dakika, 6.78 dakika ve 6.17 dakikalık periyotlar serbest titreşim periyotlarıyla %0.1’in altında örtüşmüştür.

**Çizelge 4.3** Hers Şubat 2004 VTEC Periyotlarının  
Dünya Serbest Titreşim Modları ile Eşleştirilmesi

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
443.739=7.39 sa				
164.468=2.7411 sa				
98.988=1.6498 sa				
70.789=1.1798 sa				
53.775	${}_0S_2$	53.9	0.1248	%0.23
43.936	${}_0T_2$	43.8	-0.1362	%0.31
36.748	${}_0S_3$	35.6	-1.1489	%3.22
31.656				
27.937	${}_0T_3$	28.5	0.5622	%1.97
25.252	${}_0S_4$	25.7	0.4479	%1.74
22.803	${}_0S_0$	20.5	-2.3036	%11.2
19.809	${}_0S_5$	19.81	$2.9812 \times 10^{-4}$	% 0.0015
18.626	${}_0T_5$	17.8	-0.826	%4.64
17.492	${}_0S_6$	16.03	-1.4626	%9.12
14.600	${}_0T_6$	15.35	0.75	%4.88
13.552	${}_0S_7, {}_0T_7$	13.48, 13.57	0.02	%0.14
12.179	${}_1T_2$	12.6	0.4205	%3.33
10.555	${}_1S_0$	10.1	-0.4556	%4.51
9.963				
9.182				
8.775	${}_0S_{11}$	8.91	0.14	%1.57
8.333	${}_0S_{12}$	8.37	0.04	%0.47
7.801	${}_0S_{13}$	7.89	0.09	%1.14
7.307	${}_0S_{14}$	7.47	0.17	%2.27
6.786	${}_0S_{17}$	6.78	-0.0061	%0.09
6.178	${}_0S_{19}$	6.23	0.0515	%0.08
5.864	${}_0S_{21}$	5.79	-0.0742	%1.28
5.597	${}_0S_{22}$	5.59	-0.0074	%0.13
5.337				
5.107	${}_0S_{25}$	5.101	-0.0065	%0.12



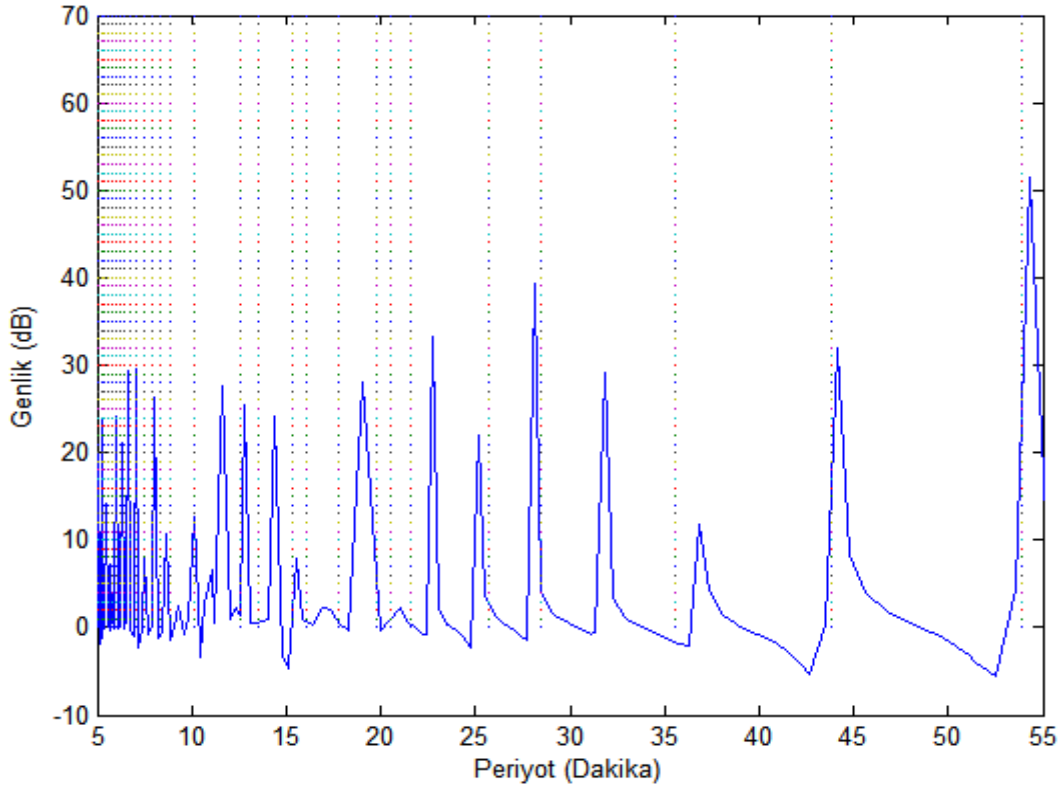
**Şekil 4.23** Lama Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği

**Çizelge 4.4** Lama Şubat 2004 VTEC Periyotların  
Dünya Serbest Titreşim Modları ile Eşleştirilmesi

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
504.549= 8.4092 sa				
160.136= 2.6689 sa				
98.741= 1.6457 sa				
70.280= 1.1713 sa				
53.977	${}_0S_2$	53.9	-0.0772	%0.14
43.498	${}_0T_2$	43.8	0.3015	%0.68
36.654	${}_0S_3$	35.6	-1.0546	%2.96
31.504				
27.852	${}_0T_3$	28.5	0.6472	%2.27
25.097	${}_0S_4$	25.7	0.6023	%2.34
22.616	${}_0T_4$	21.6	-1.0167	%4.70
20.763	${}_0S_0$	20.5	-0.2637	%1.28
18.927	${}_0S_5$	19.81	0.8829	%4.45
17.530	${}_0T_5$	17.8	0.2697	%1.51
16.350	${}_0S_6$	16.03	-0.3209	%2.00
15.278	${}_0T_6$	15.35	0.0719	%0.46
14.361				
13.569	${}_0S_7, {}_0T_7$	13.48, 3.57	$8.0325 \times 10^{-4}$	%0.0059
11.792	${}_1T_2$	12.6	0.8071	%6.40
10.541	${}_1S_0$	10.1	-0.4419	%4.37
9.687				
8.616	${}_0S_{11}$	8.91	0.2937	%3.29
7.774	${}_0S_{13}$	7.89	0.1153	%1.46
6.791	${}_0S_{17}$	6.78	-0.0113	%0.16
5.507	${}_0S_{22}$	5.59	0.0827	%1.48

Şekil 4.23'de verilen Bode genlik çizeneğine göre Lama Şubat 2004 VTEC zaman serisine ait güneş senkron dinamik modelinde de diğer istasyonlarda olduğu gibi düşük zaman değerlerinde daha çok periyot gözlemlenmiştir. Gözlemlenen periyotların büyüklükleri genel olarak birbirine yakın çıkmaktadır.

Çizelge 4.4 ile verilen dünyanın serbest titreşim modlarına ait periyotlar ile karşılaştırma sonuçlarına göre, 53.977 dakika, 43.498 dakika, 15.278 dakika, 6.79 dakikalık periyotlar serbest titreşim periyotları ile %1'in altında örtüşürken, 13.569 dakikalık periyot serbest titreşim periyotlarıyla %0.1'in altında örtüşmüştür.



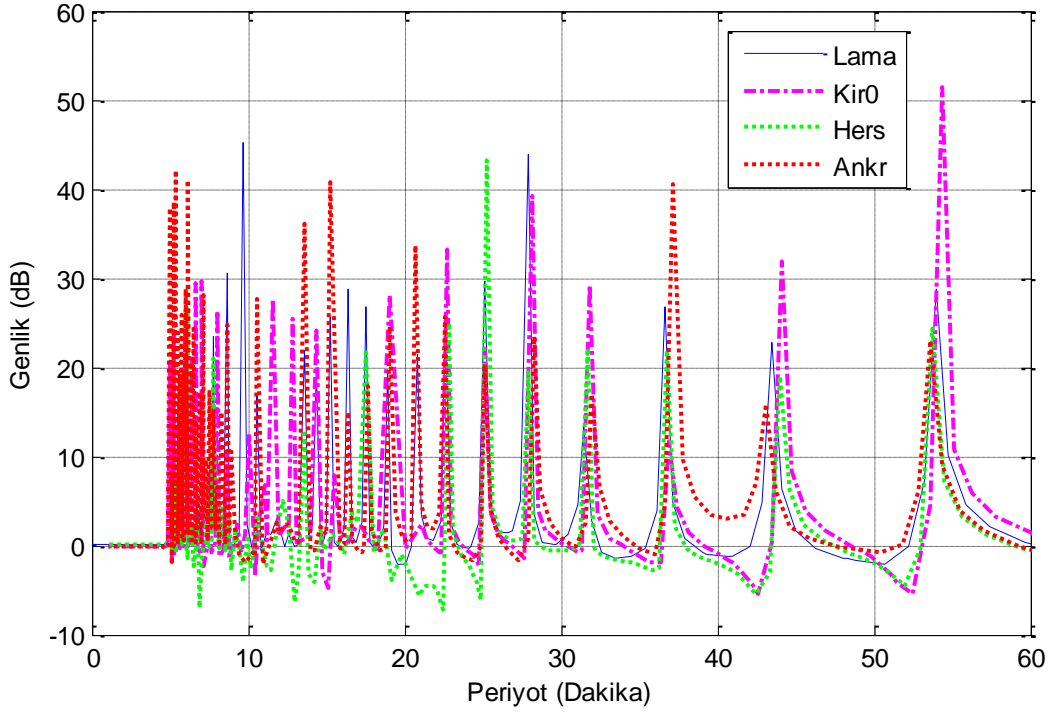
**Şekil 4.24** Kir0 Şubat 2004 VTEC Modeli Bode Genlik Çizeneği

**Çizelge 4.5** Kir0 Şubat 2004 VTEC Periyotlarının  
Dünya Serbest Titreşim Modları ile Eşleştirilmesi

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu-Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
511.818= 8.5303 sa				
178.667= 2.9778 sa				
101.393= 1.6899 sa				
71.111= 1.1852 sa				
54.351	${}_0S_2$	53.9	-0.4513	%0.83
44.125	${}_0T_2$	43.8	-0.3258	%0.74
36.862	${}_0S_3$	35.6	-1.2624	%3.54
31.825				
28.110	${}_0T_3$	28.5	0.3896	%1.36
25.163	${}_0S_4$	25.7	0.5369	%2.08
22.697	${}_0T_4$	21.6	-1.0971	%5.07
21.026	${}_0S_0$	20.5	-0.5262	%2.56
19.053	${}_0S_5$	19.81	0.7562	%3.81
15.542	${}_0S_6$	16.03	0.4874	%3.04
14.338				
12.830	${}_1T_2$	12.6	-0.2305	%1.91
11.632				
11.046				
10.106	${}_1S_0$	10.1	-0.0064	%0.06
9.313				
8.636	${}_0S_{11}$	8.91	0.2736	%3.07
8.046				
7.539	${}_0S_{13}$	7.89	0.3503	%4.43
7.081				
6.681	${}_0S_{17}$	6.78	0.0986	%1.45
6.329	${}_0S_{19}$	6.23	-0.1000	%1.60
6.011				
5.722	${}_0S_{21}$	5.79	0.0671	%1.15
5.459	${}_0S_{22}$	5.59	0.1302	%2.32
5.219				
5.000	${}_0S_{25}$	5.101	0.1010	%1.98

Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilen sonuçlara göre, Lama, Kir0, Hers ve Ankr istasyonlarının Şubat 2004 VTEC zaman serilerine göre elde edilen Güneş-VTEC dinamiğine ait olarak bulunan rezonans periyotların çoğu, Dünya’nın serbest titreşim periyotları ile çok yakın çıkmıştır. Elde edilen birçok periyot en fazla %4 mertebelerinde hata ile elde edilmiştir. Bunun yanında serbest titreşim periyotları ile eşleştirilemeyen periyotlar da bulunmaktadır. Eşleştirilemeyen bu periyotlar genellikle bütün istasyonlar olarak aynı çıkmıştır.

Şekil 4.33 ile dört istasyona ait Bode genlik çizimleri üst üste çizdirilerek verilmektedir.

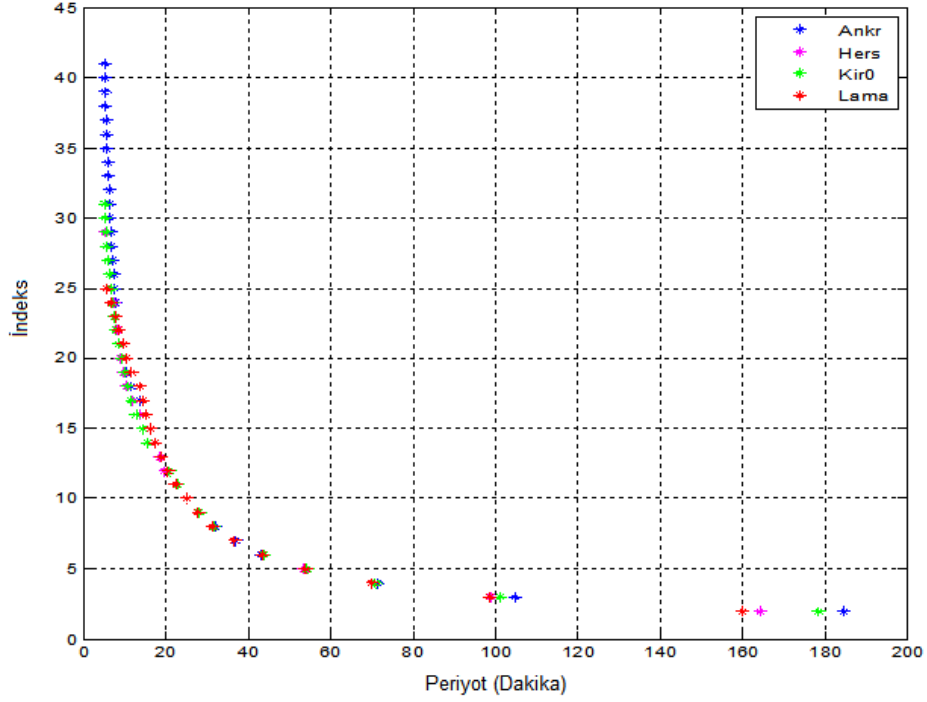


**Şekil 4.25** Lama, Kir0, Hers, Ankr Şubat 2004 VTEC Modelleri Bode Genlik Çizeneği

Şekil 4.25'de görüldüğü gibi, istasyonların genlik çizimindeki tepe noktaları hemen hemen aynı periyot değerleri üzerinde çıkmaktadır. Buna göre, istasyonların sahip oldukları rezonans periyotlarının çoğunun benzer olduğu sonucuna varılmaktadır.

Elde edilen periyotlar üzerinde yapılan bir diğer çalışma da dört istasyona ait periyotların birbirleri ile ne kadar örtüştüğü sonucuna varmak için Şekil 4.34 ile kutup indekslerine göre periyot değerleri çizdirilmiştir.

Güneş senkron VTEC dinamik modeli Lama, Hers, Ankr istasyonlarının Temmuz 2002 zamanına ait VTEC zaman serileri için de oluşturulmuştur. Oluşturulan dinamik modellere ait rezonans periyotları ile yerkürenin serbest titreşim modlarının karşılaştırılması ile ilgili sonuçlar EK-C'de verilmiştir.



**Şekil 4.26** Ankr, Hers, Lama, Kir0 Şubat 2004 Periyot Karşılaştırılması

Şekil 4.26'ya göre 7 dakika ile 53 dakika arasında bulunan periyotlar birbirlerine çok yakın çıkmaktadır. Periyot değerleri büyüdükçe periyotlar birbirleriyle örtüşmemeye başlamıştır. Örtüşen bu periyot aralığı Dünya'nın serbest titreşim periyotları ile aynı aralığa sahiptir. Şekil 4.24 ile örtüştüğü görülen periyot değerleri Şekil 4.25 üzerinde işaretlenmiştir.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, iyonosferin sahip olduğu özellikler ve yapısına dair bilgiler verilmiş olup, IONOLAB-TEC olarak adlandırılan yöntem ile elde edilen iyonosferin elektron sayılarını ifade etmekte kullanılan VTEC zaman serileri kullanılarak, iyonosfere ait olan periyotların tanımlanması gerçekleştirilmiştir. İyonosfere ait olan periyotları belirlemek amacıyla, birçok değişik istasyona ait VTEC zaman serileri üzerinde frekans analizi çalışmaları yapılmıştır. Frekans analiz yöntemleri olarak Hızlı Fourier Dönüşümü, Periyodogram yöntemi ve Allan Varyans yöntemleri olmak üzere başlıca üç adet yöntem kullanılmıştır.

Hızlı Fourier Dönüşüm yöntemi, periyodogram ve Allan Varyans yöntemleri ile elde edilen periyotlar karşılaştırılarak VTEC zaman serilerine ait en hassas periyot değerlerini veren yöntem belirlenmiştir. Dört farklı istasyonun aynı zamanlarına ait VTEC zaman serileri üzerinde gerçekleştirilen analizlere göre, periyodogram yöntemi düşük genliğe sahip periyot değerlerini ön plana çıkarma özelliği ile, diğer yöntemlere göre daha çok periyot değeri ve belirgin sonuçlar elde etmiştir.

Periyodogram yöntemine göre elde edilen periyotların, Dünya Güneş ve Ay'ın hareketlerine bağlı olarak gerçekleşen gelgit periyotları olarak da bilinen gelgit periyotları ile benzer olduğu görülmüştür. Böylece, gelgit periyotları ile periyodogram yöntemi ile bulunan periyotlar karşılaştırılmış ve aralarındaki hatanın %1'in ve hatta %0.1'in altında oldukları sonucuna varılmıştır. Bu analiz sonucuna göre, iyonosferdeki elektronların gelgit periyotlarını oluşturan aynı etmenlere bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla iyonosferdeki değişimler, Güneş, Ay ve Dünya hareketlerinden oluşan manyetik alan değişimlerinden etkilendiği speküle edilmiştir.

Ancak elde edilen periyotlar haricinde VTEC zaman serilerinde görülen küçük periyotlara sahip hızlı değişimler de görülmüştür. Bu periyot değerleri diğer periyotlara göre çok küçük güce sahip oldukları için, frekans analizi yöntemleri ile tespit edilememişlerdir. Bu periyot değerlerini tanımlayabilmek amacıyla, iyonosfer dinamiğini modellenerek iyonosfere ait bütün değişimlerin gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır.

İyonosfer dinamiğini modellemek için iyonosfer dinamiği kapalı kutu gibi bir sistem olarak düşünülüp, sistem tanımlama yöntemlerinden biri olan Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Kanonik Korelasyon Analizi giriş ve çıkış veri setleri arasındaki doğrusal ifadeyi bir fark denklemi olarak tanımlamak için veri setlerine uygun katsayıları belirlemektedir.

Kanonik Korelasyon Analizi yönteminin VTEC zaman serilerinin dinamik yapısını modellemesini gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğine dair ilk olarak, sistem girişine ve çıkışına VTEC zaman serilerinin bir bölümü verilmiştir. Buna göre elde edilen sistemin performansını gözlemek için, Kanonik korelasyon analizi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiyi tanımlayan katsayılar aracılığıyla elde edilen bir dinamik sistem modeli yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan dinamik sistem modelinden ilgili VTEC zaman serisi geçirilerek, sistem sonucu orijinal VTEC zaman serileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu birbirine %1 ve %0.1 farkları altında yakın çıktığı için, Kanonik Korelasyon Analizi gibi basit bir yöntemin iyonosfer dinamiğini kabaca modelleyebildiği sonucuna varılmıştır.

VTEC zaman serilerindeki düşük güce sahip periyotları bulabilmek için, tanımlanacak olan sistem modeline giriş olarak, güneş senkron bir girdi oluşturulmak istenmiştir. Bunun nedeni iyonosferdeki elektron yoğunluğu değişimlerini oluşturan en büyük etkilerin Güneş kaynaklı olmasıdır. Güneş kaynaklı sistem girdisini oluşturmak için, güneşin en tepede olduğu zaman olarak tanımlanan yerel öğle zamanları istasyonlar için ayrı ayrı bulunup, sinüs dalgasının yerel öğle zamanı kadar kaydırılması sonucu VTEC zaman serilerine göre tepe noktaları oturacak şekilde benzer VTEC zaman serileri elde edilmiştir.

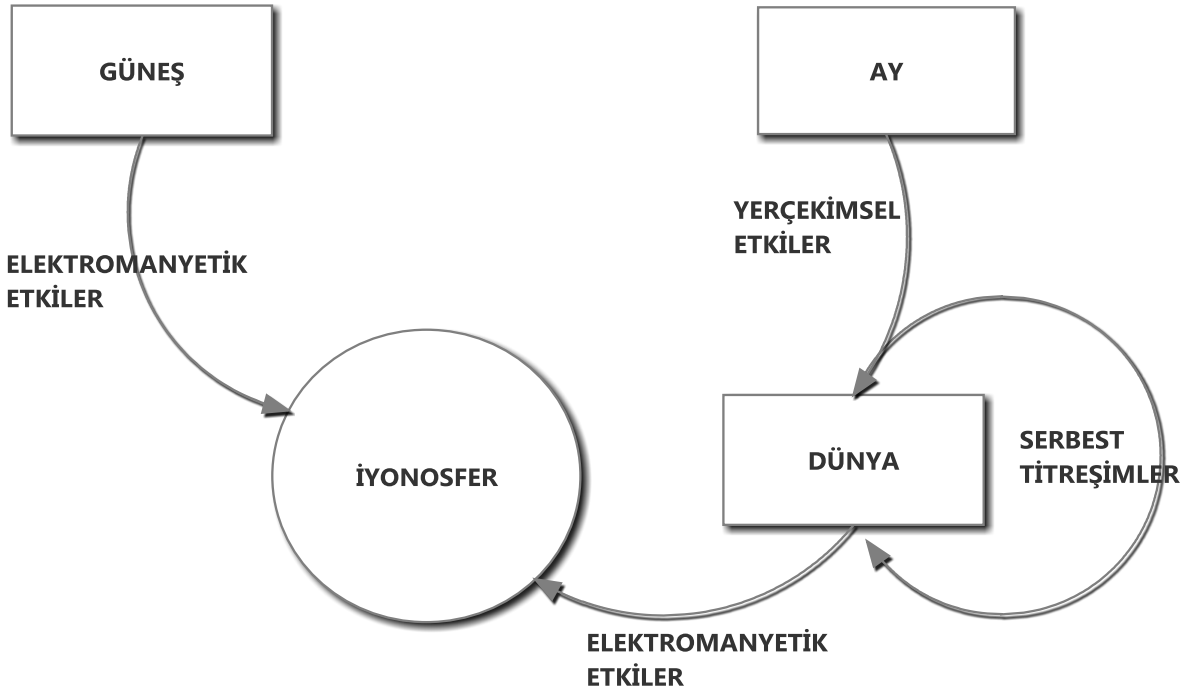
Elde edilen benzer VTEC zaman serileri ile orijinal VTEC zaman serileri arasında Kanonik Korelasyon Analizi ile sistem katsayıları belirlenerek, istasyonlara ait aktarım işlevini modelleyen sistem modelleri elde edilmiştir. Bulunan sistem modelleri ayrık zamandan sürekli zamana kutup-sıfır eşleştirmesi yöntemi ile geçirilerek, dinamik yapının sürekli zamanda incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Dinamik modellerin sürekli zamandaki incelemelerini gerçekleştirmek amacıyla Bode çizenekleri elde edilmiştir. Bode çizenekleri sistemlerin sahip olduğu rezonans

periyotları hakkında bilgi sağlamıştır. Bulunan rezonans periyot değerleri 7 ile 54 dakika aralığında değerlere sahip olmaktadır. Aynı zamanda bulunan periyotlar yapılan literatür araştırmasına göre, Dünya'nın serbest titreşim periyotları olarak tanımlanan sismik periyotlar ile örtüştüğü tespit edilmiştir.

Dünya'nın serbest titreşim periyotları, yerkürenin mikrotitreşim hareketleridir. Periyotlar bu hareketlere bağlı olarak gelişen rezonans periyotları olarak tanımlanmaktadır. Bunun sonucu olarak aktarım işlevi modelinin rezonans periyotları ile örtüştüğü için, iyonosfer dinamiğinin yerkürenin hareketlerine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak iyonosferi etkileyen etmenleri özetlemek için Şekil 5.1 ile iyonosferin değişimine neden olan etmenler verilmeye çalışılmıştır.



**Şekil 5.1** İyonosferi Etkileyen Etmenler

Şekil 5.1'e göre, iyonosfer Güneş ışınımlarından doğrudan etkilenmekte olup, ek olarak Dünya'da meydana gelen elektromanyetik değişimlerden de etkilenmektedir. Gelgit periyotları ile elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, dünyada manyetik alan değişimine sahip olduğu için dolaylı olarak iyonosfer dinamiğini de

etkilemektedir. Bunların haricinde Dünya'nın serbest titreşim periyotları ile olan örtüşme göz önüne alınarak Dünya'da elektrik alan değişimine neden olan bir diğer etmen de yerkürenin hareketleri ya da yerkürede bulunan piezo-elektrik yapısındaki kayalar olduğu speküle edilmektedir.

İyonosferde bulunan periyotların bir kısmının yerküredeki hareketlerine dair olduğundan bahseden bir çalışma daha önceden [6] ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada iyonosferdeki düşük genliğe sahip periyotları elde edebilmek amacıyla belirgin periyotları veriden eleyen birtakım yüksek ve alçak geçiren filtreler kullanılarak düşük güçlü frekans değerleri elde edilmiştir. Ancak bu çalışmadaki elektron yoğunluk zaman serileri daha keskin ölçümler sağlayan teknikler ile elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen en önemli sonuç ise, daha önce yalnızca sismik verilerin analizi sonucu gözlemlenebilen Dünya'nın serbest titreşim periyotlarının dolaylı olarak ilk kez GPS istasyonları ile sağlanan VTEC zaman serilerinin analizleri sonucu gözlemlenebilmiş olmasıdır.

## 6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Alsop, L.E., 1964, Spheroidal Free Periods Of The Earth Observed At Eight Stations Around The World, Seismological Society of America
- [2] Amiri-Simkooei, A.R., Asgari J., 2011, Harmonic analysis of total electron contents time series: methodology and results, GPS Solutions 2012 Vol 16., pp. 77-82
- [3] Arıkan, F., Erol, C.B., Arıkan, O., 2003, Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, Journal of Geophysical Research. 118, 1469-1480.
- [4] Arıkan, F., Erol, C.B., Arıkan, O., 2004, Regularized estimation of vertical electron content from GPS data for a desired time period, Radio Science, vol.39.
- [5] Bernhardt, P., 1979, Digital processing of ionospheric electron content data, IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-27, NO, 6
- [6] Bernhardt, P.A., 1978, Identification of mixing frequency components in ionospheric electron content data by multiplicative homomorphic filtering, J.Geophys., vol. 83, pp. 5212-5216
- [7] Borga, M., 1999, Canonical correlation Online tutorial, <http://www.imt.liu.se/~magnus/cca/tutorial>
- [8] Dillon, W.R., Goldstein, M., 1984, Multivariate analysis: methods and applications, NewYork: Wiley
- [9] Doodson, A.T., 1921, The harmonic development of the tide-generating potential, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Vol. 100, No. 704, pp. 305-329
- [10] Eli Billauer, [www.developerx.com/dropbox/work\\_260209/peakdet.m](http://www.developerx.com/dropbox/work_260209/peakdet.m)
- [11] Forbes, J.M., Palo S.E., Zhang X., 1999, Variability of the ionosphere, Journal of Atmospheric and Solar- Terrestrial Physics 62,pp. 685-693
- [12] Gigli, R., 2010, Galileo's theory of the tides, Rice University

- [13] Goodman, J. M., 1992, HF communications science and technology, Van Nostrand Reinhold, New York, 631p.
- [14] Erdogan, H. , Arslan N., 2009, Identification of vertical total electron content by time series analysis, Digital Signal Processing 19, pp. 740-749
- [15] Franklin, G.F., Powell, D.J., Workman, M.L., 1997, Digital Control of Dynamic Systems (3rd Edition), Prentice Hall
- [16] Hegai V.V., Kim, V.P., Liu, J.Y., The ionospheric effect of atmospheric gravity waves excited prior to strong earthquake, 2006, Advances in Space Research 37, pp 653-659
- [17] Hofmann-Wellenhof, B., 2001, GPS Theory and Practice, Springer Wien, NewYork.
- [18] Howe, D.A., Allan, D.W., Barnes, J.A, 1981, Properties of signal sources and measurement methods, Frequency Control Symposium, 464–469
- [19] Johnson, R.A., Wichern, D.W., 2007, Applied multivariate statistical analysis (Sixth ed.), Prentice Hall
- [20] Kaplan, E.D., 1996, Understanding GPS principles and applications, Artech House Publishers - Boston, London
- [21] Komjathy, A., 1997, Global ionospheric total electron content mapping using the Global Positioning System, Doktora Tezi, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Kanada.
- [22] Kovarch, R.L., Anderson, D.L., 1967, Study of the energy of the free oscillations of the earth, Journal of Geophysical Research
- [23] Kutiev, I., Muhtarov , P., Cander L.R., Levy M.F., 1999, Short-term prediction of ionospheric parameters based on auto-correlation analysis, Annali Di Geofisica, Vol.42, N.1

- [24] Lang, Kenneth R., 2003, The cambridge guide to the solar system, Cambridge University Press. p. 92. ISBN 0-521-81306-9.
- [25] Liao, X., 2000, Carrier phase based ionosphere recovery over a regional area GPS network, Master's thesis, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Kanada.
- [26] Lin, L.S., 2001, Remote sensing of ionosphere using GPS measurements, Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore.
- [27] Liu, Z., Skone, S. , Y. Gao, A. Komjathy, 2005, Ionospheric modeling using GPS data, GPS Solutions 9 , 63–66
- [28] Lowrie, W., 1992, Fundamentals of geophysics, Second Ed., Cambridge University Press
- [29] Ma, G., Maruyama, T., 2003, Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan, Annales Geophysicae. 21, 2083-2093.
- [30] Manly, B.F., 2005, Multivariate statistical methods: a primer 3rd ed., Chapman & Hall, Ltd., London, UK
- [31] Mannuci, A.J., Wilson, B.D., Yuan, D.N., 1998, A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements, Radio Sci., 33(3), 565-582
- [32] Mitterdorfer, M.A., 2008, Canonical correlation analysis as applied to an aerodynamic design space problem, Msc thesis in Intelligent Systems University College London
- [33] Nayir, H., 2007, Yerküresel konumlama sistemi işaretleri kullanarak ionosfer toplam elektron içeriği kestirimi, Master Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

[34] Oppenheim, A.V., Schafer, R.V., 1989, Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall

[35] Palanthandalam, H.J., Ridley A.J., Berstein D.S., 2005, Identification and prediction of ionospheric dynamics using a hammerstein-weiner model with radial basis functions, American Control Conference, Portland, OR,USA

[36] Romanovskaya, Y.V., Namgaladze, A.A., Zolotov, O.V., Starikova, N.A, Lopatyi, V.Z., 2012, Searching for seismo-ionospheric earthquakes precursors: Total electron content disturbances before 2005-2006 seismic events, Proceedings of the MSTU, Vol.15, No.2, pp. 477-481

[37] Seidelmann, P.K., 1992, Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, University Science Books

[38] Skone, S., 1998, Wide Area Ionosphere Grid Modelling in the Auroral Region UCGE Reports Number 20123, PhD thesis, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

[39] Shved, G.M., Petrova, L.N., Polyakova O.S., 2000, Penetration of the Earth's free oscillations at 54 minute period into the atmosphere, Annales Geophysicae

[40] Sun, L., Ji, S., Ye, J., 2006, A least squares formulation for canonical correlation analysis, Department of Computer Science and Engineering, Arizona State University

[41] Weenink, D., 2003, Canonical Correlation Analysis, Institute of Phonetic Sciences, University of Amsterdam Vol.25, pp. 81-99

[42] Yallop, B.D., 1996, A simple, compact algorithm for calculating times of sunrise and sunset, H.M. Nautical Almanac Office



## EKLER

### EK.A – Lama, Alic İstasyonlarının Normalizasyon Sonuçları

Lama istasyonunun Şubat ayı VTEC zaman serilerine ait periyotların genliklerinin, sırasıyla periyot değerlerine ve yıllara göre normalize edilmiş sonuçları verilmektedir.

**Çizelge A.1** Lama İstasyonu Şubat Ayı En Baskın Periyoda Göre Normalizasyon Sonuçları

Ortak Periyotlar-Şubat (Saat)	2000	2001	2002	2004	2005	2007
5.98	0.003079	0.007523	0.005619	0	0	0
7.98	0.005116	0	0	0.01736	0	0
8.03	0	0.016125	0.006041	0	0.01656	0
11.97	0.069347	0.149057	0.170845	0.07830	0.06905	0.379114
18.45	0.004017	0	0.008378	0	0	0
21.33	0.012889	0	0	0.00728	0	0
22.75	0.03274	0	0	0.02670	0	0
23.95	1	0	0	1	0	0
24.38	0	1	1	0	1	1
25.28	0.032599	0	0	0.04033	0	0
27.30	0.019005	0.027251	0	0.00968	0	0
29.68	0.007594	0.014335	0	0.00861	0	0
31.03	0.001457	0	0	0.00645	0	0
34.13	0.003198	0	0.013574	0	0	0
40.15	0	0.002747	0	0	0.03657	0
45.51	0.007428	0	0.015022	0	0	0
52.51	0	0.004878	0	0	0.03004	0
68.26	0.008988	0	0.010711	0	0	0
97.52	0.002662	0	0.003029	0	0	0
136.53	0.015662	0	0.002075	0	0	0
341.33	0	0.034722	0	0.02302	0	0.177101

Bir yıl içerisinde en baskın periyot 23.95 saat (2000, 2004) ve 24.38 saat (2001, 2002, 2005, 2007) olarak bulunmuştur.

**Çizelge A.2** Lama İstasyonu Şubat Ayı En Baskın Yıla Göre Normalizasyon Sonuçları

Ortak Periyotlar-Şubat (Saat)	2000	2001	2002	2004	2005	2007
5.98	0.375478	0.425	1	0	0	0
7.98	1	0	0	0.507601	0	0
8.03	0	0.847358	1	0	0.117149	0
11.97	0.278168	0.276982	1	0.046974	0.017275	0.015726
18.45	0.328565	0	1	0	0	0
21.33	1	0	0	0.084548	0	0
22.75	1	0	0	0.121962	0	0
23.95	1	0	0	0.149548	0	0
24.38	0	0.317469	1	0	0.042736	0.007087
25.28	1	0	0	0.185058	0	0
27.30	1	0.664273	0	0.076232	0	0
29.68	1	0.874535	0	0.169627	0	0
31.03	1	0	0	0.662849	0	0
34.13	0.161476	0	1	0	0	0
40.15	0	0.558008	0	0	1	0
45.51	0.33886	0	1	0	0	0
52.51	0	1	0	0	0.828967	0
68.26	0.575084	0	1	0	0	0
97.52	0.602443	0	1	0	0	0
136.53	1	0	0.193368	0	0	0
341.33	0	1	0	0.214106	0	0.113859

Yıllara göre normalize edilmiş sonuçlara bakıldığında, bütün istasyonlarda genel olarak 2001 yılında periyotların genlikleri en yüksek değerleri almakta olup, 2001 yılından sonra periyotların genlikleri azalmaya başlamaktadır.

Alic istasyonunun Ocak ayı VTEC zaman serilerine ait periyotların genliklerinin, sırasıyla periyot değerlerine ve yıllara göre normalize edilmiş sonuçları verilmektedir.

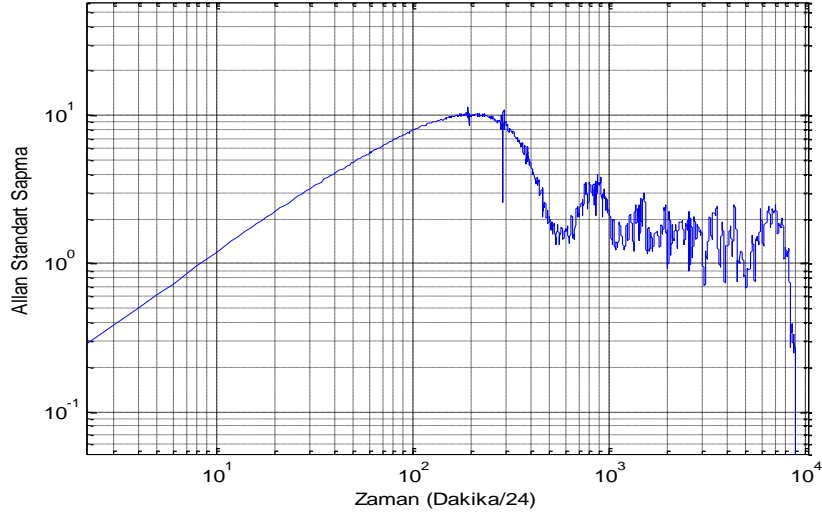
**Çizelge A.3** Alic İstasyonu Ocak Ayı En Baskın Periyota Göre Normalizasyon Sonuçları

Ortak Periyod-Ocak (Saat)	2001	2005	2006
11.97	0.068489	0.037751	0.058838
12.30	0.005955	0	0.01933
17.50	0.001788	0.007549	0.009817
20.37	0.002512	0	0.010101
23.95	1	1	1
25.28	0.026611	0	0.097564
26.25	0	0.030966	0.021478
27.30	0.024461	0.032014	0
30.34	0.016129	0	0.011965
37.92	0.020521	0.007348	0.010924
54.61	0.006312	0	0.007043
65.01	0.00715	0.019246	0
80.31	0.005957	0	0.009564
113.77	0.006828	0.033588	0
341.33	0	0.072569	0.032641

**Çizelge A.4** Alic İstasyonu Ocak Ayı En Baskın Yıla Göre Normalizasyon Sonuçları

Ortak Periyod-Ocak (Saat)	2001	2005	2006
11.97	1	0.123101	0.124437
12.30	1	0	0.470148
17.50	1	0.942937	0.795255
20.37	1	0	0.58237
23.95	1	0.223333	0.144849
25.28	1	0	0.531061
26.25	0	1	0.449846
27.30	1	0.292297	0
30.34	1	0	0.107454
37.92	1	0.079976	0.077109
54.61	1	0	0.161622
65.01	1	0.601141	0
80.31	1	0	0.232538
113.77	0.910205	1	0
341.33	0	1	0.291724

## EK.B – Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Sonuçları



**Şekil B.1** Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Grafiği

**Çizelge B.1** Ankr Aralık 2002 Allan Varyans Sonuçları

Allan Varyans ile Bulunan Periyotlar (Saat)	Periyodogram ile Bulunan Periyotlar (Saat)	Fark(%)
254.83		
208.83		
162.37		
128.25		
107.33	105.02	2.19
86.12		
83.29		
65.04	68.26	4.71
59.75		
55.62		
38.54		
35.87		
35.12		
32.54	31.03	4.86
22.29	22.75	2.02
15.79	16.06	1.68
12.20	12.30	0.81
11.91	11.97	0.50
11.66		
8	7.98	0.25

Yine aynı şekilde periyot olarak bulunan değerler birbirine yakın değerler olup, periyodogram periyotlarının doğruluğu Allan Varyansa göre daha fazla çıkmıştır.

## EK.C – Lama, Hers, Ankr Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Sonuçları

Ankr Temmuz 2002 Sonuçları Çizelge C.1 ile verilmiştir.

**Çizelge C.1** Ankr Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
405.664=6.76 sa				
179.471=2.99 sa				
104.909=1.74 sa				
72.227=1.20 sa				
54.18	${}_0S_2$	53.9 dk	-0.2860	%0.53
44.14	${}_0T_2$	43.8 dk	-0.3481	%0.79
37.10	${}_0S_3$	35.6 dk	-1.5009	%4.21
32.13				
28.05	${}_0T_3$	28.5 dk	0.4477	%1.57
25.15	${}_0S_4$	25.7 dk	0.5409	%2.10
22.82	${}_0T_4$	21.6 dk	-1.2204	%5.65
20.69	${}_0S_0$	20.5 dk	-0.1965	%0.95
19.06	${}_0S_5$	19.81 dk	0.7452	%3.76
17.69	${}_0T_5$	17.8 dk	0.1097	%0.62
16.50	${}_0S_6$	16.03 dk	-0.4726	%2.95
15.33	${}_0T_6$	15.35 dk	0.0122	%0.07
14.42				
13.61	${}_0S_7, {}_0T_7$	13.48 dk, 13.57dk	-0.0470	%0.35
12.86	${}_1T_2$	12.6 dk	-0.2625	%2.08
12.22	${}_0T_8$	12.22 dk	-0.0066	%0.05
11.64	${}_0S_8$	11.72 dk	0.0751	%0.64
11.02	${}_1S_0$	10.1 dk	-0.9214	%9.12
8.93	${}_0S_{11}, {}_0T_{12}$	8.91dk, 8.93 dk	-0.0080	%0.08
8.06	${}_0S_{13}, {}_0T_{14}$	7.89 dk, 7.93 dk	-0.1359	%1.71
7.30	${}_0S_{14}$	7.47 dk	0.1627	%2.18
6.49	${}_0T_{18}$	6.52 dk	0.0228	%0.35
6.01	${}_0T_{20}$	5.99 dk	-0.0267	%0.44
5.46	${}_0S_{23}$	5.42 dk	-0.0431	%0.79
5.21	${}_0S_{24}$	5.25 dk	0.0380	%0.72

Hers Temmuz 2002 Sonuçları Çizelge C.2 ile verilmiştir.

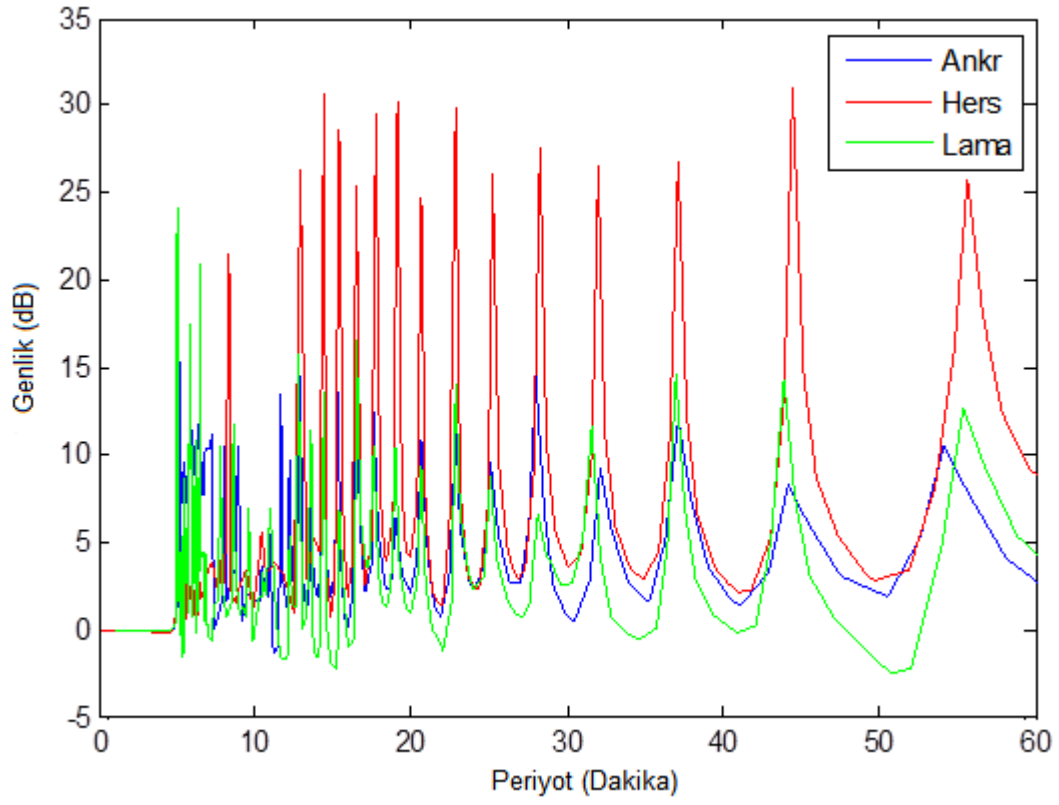
**Çizelge C.2** Hers Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
433.865=7.23 sa				
173.242=2.88 sa				
97.396=1.67 sa				
70.655=1.17 sa				
55.67	${}_0S_2$	53.9 dk	-1.7735	% 3.29
44.49	${}_0T_2$	43.8 dk	-0.6907	% 1.57
37.10	${}_0S_3$	35.6 dk	-1.5049	% 4.22
32.02				
28.28	${}_0T_3$	28.5 dk	0.2188	% 0.76
25.28	${}_0S_4$	25.7 dk	0.4159	% 1.61
22.82	${}_0T_4$	21.6 dk	-1.2262	% 5.67
20.64	${}_0S_0$	20.5 dk	-0.1480	% 0.72
19.09	${}_0S_5$	19.81 dk	0.7142	% 3.60
17.73	${}_0T_5$	17.8 dk	0.0631	% 0.35
16.49	${}_0S_6$	16.03 dk	-0.4694	% 2.92
15.41	${}_0T_6$	15.35 dk	-0.0697	% 0.45
14.39	${}_0S_{7,0}T_7$	13.48 dk, 13.57dk	-0.9173	% 6.75
12.90	${}_1T_2$	12.6 dk	-0.3091	% 2.45
10.47	${}_1S_0$	10.1 dk	-0.3720	% 3.68
8.32	${}_0T_{13}$	8.39 dk	0.0648	% 0.77
7.91	${}_0T_{14}$	7.93 dk	0.0132	% 0.16
5.95	${}_0T_{20}$	5.99 dk	0.0366	% 0.61
5.42	${}_0S_{23}$	5.42 dk	-0.0019	% 0.03
5.07	${}_0S_{25}$	5.101 dk	0.0293	% 0.57

Lama Temmuz 2002 Sonuçları Çizelge C.3 ile verilmiştir.

**Çizelge C.3** Lama Temmuz 2002 Aktarım İşlevi Dinamik Model Periyotları ile Serbest Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması

Elde Edilen Periyot (Dakika)	Dünya Serbest Titreşim Modu (Dakika)		Fark (Mod Periyodu- Periyot) (Dakika)	Yüzde Hata
	Sembol	Periyot		
469.213=7.82 sa				
165.335=2.75 sa				
100.767=1.68 sa				
70.881=1.18 sa				
55.33	${}_0S_2$	53.9 dk	-1.4332	% 2.65
43.83	${}_0T_2$	43.8 dk	-0.0302	% 0.069
36.92	${}_0S_3$	35.6 dk	-1.3284	% 3.73
31.58				
28.14	${}_0T_3$	28.5 dk	0.3566	% 1.25
25.08	${}_0S_4$	25.7 dk	0.6176	% 2.40
22.88	${}_0T_4$	21.6 dk	-1.2816	% 5.93
20.67	${}_0S_0$	20.5 dk	-0.1736	% 0.85
19.03	${}_0S_5$	19.81 dk	0.7707	% 3.89
17.60	${}_0T_5$	17.8 dk	0.1987	% 1.12
16.56	${}_0S_6$	16.03 dk	-0.5383	% 3.36
15.42	${}_0T_6$	15.35 dk	-0.0796	% 0.52
14.42				
13.55	${}_0S_7, {}_0T_7$	13.48 dk, 13.57dk	0.0187	% 0.14
12.82	${}_1T_2$	12.6 dk	-0.2254	% 1.78
12.21	${}_0T_8$	12.22 dk	0.0037	% 0.03
11.00	${}_0T_9$	11.15 dk	0.1400	% 1.25
9.67	${}_0T_{11}$	9.55 dk	-0.1262	% 1.32
8.64	${}_0S_{12}$	8.4 dk	-0.2449	% 2.92
7.79	${}_0S_{13}$	7.89 dk	0.0972	% 1.23
6.88	${}_0S_{17}$	6.78 dk	-0.1041	% 1.53
6.51	${}_0S_{18}$	6.48 dk	-0.0375	% 0.58
6.33	${}_1T_{10}$	6.32 dk	-0.0182	% 0.28
6.16	${}_0S_{19}$	6.23 dk	0.0611	% 0.98
6.01	${}_0S_{20}$	6.01 dk	-0.0078	% 0.12
5.86				
5.72	${}_0S_{21}$	5.79 dk	0.0671	% 1.16
5.58	${}_0S_{22}$	5.59 dk	$2.6296 \times 10^{-4}$	$\% 4.70 \times 10^{-4}$
5.47	${}_0S_{23}$	5.42 dk	-0.0550	% 1.01
5.34	${}_0S_{24}$	5.25 dk	-0.0910	% 1.73
5.10	${}_0S_{25}$	5.101 dk	-0.0067	% 0.13
5.00	${}_0T_{25}$	5.00 dk	$-3.3919 \times 10^{-5}$	$\% 6.78 \times 10^{-4}$



**Şekil C.1** Ankr, Hers, Lama Temmuz 2002 Dinamik Modellerinin Bode Genlik Çizeneği



## EK.D- Veri Seti İçindeki Maksimum ve Minimum Noktaları Bulan Kaynak Kod

```
function [maxtab, mintab]=peakdet(v, delta, x)
%PEAKDET Detect peaks in a vector
% [MAXTAB, MINTAB] = PEAKDET(V, DELTA) finds the local
% maxima and minima ("peaks") in the vector V.
% MAXTAB and MINTAB consists of two columns. Column 1
% contains indices in V, and column 2 the found values.
%
% With [MAXTAB, MINTAB] = PEAKDET(V, DELTA, X) the indices
% in MAXTAB and MINTAB are replaced with the corresponding
% X-values.
%
% A point is considered a maximum peak if it has the maximal
% value, and was preceded (to the left) by a value lower by
% DELTA.
% Eli Billauer, 3.4.05 (Explicitly not copyrighted).
% This function is released to the public domain; Any use is allowed.
maxtab = [];
mintab = [];
v = v(:); % Just in case this wasn't a proper vector
if nargin < 3
    x = (1:length(v))';
else
    x = x(:);
if length(v)~= length(x)
error('Input vectors v and x must have same length');
end
end
if (length(delta(:)))>1
error('Input argument DELTA must be a scalar');
end
if delta <= 0
error('Input argument DELTA must be positive');
end
mn = Inf; mx = -Inf;
mnpos = NaN; mxpos = NaN;
lookformax = 1;
for i=1:length(v)
this = v(i);
if this > mx, mx = this; mxpos = x(i); end
if this < mn, mn = this; mnpos = x(i); end
if lookformax
if this < mx-delta
maxtab = [maxtab ; mxpos mx];
mn = this; mnpos = x(i);
lookformax = 0;
end
else
if this > mn+delta
mintab = [mintab ; mnpos mn];
mx = this; mxpos = x(i);
lookformax = 1;
end
end
end
end
```

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Meltem KÖROĞLU

Doğum Yeri : ANKARA

Doğum Yılı : 1987

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 2001-2004 : Yabancı Dil Ağırlıklı Cumhuriyet Lisesi,ANKARA

Lisans 2004-2008 : Başkent Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ANKARA

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

2008-... : ROKETSAN

ANKARA

Mühendis