

**VLF SİNYALLERİNDE OLUŞAN TEDİRGİNLİKLERİN
GİDERİLMESİ İÇİN BİR YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ**

Duygu GÜR

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mustafa TÜRK
TEMMUZ-2013**

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

**VLf SİNYALLERİNDE OLUŞAN TEDİRGİNLİKLERİN GİDERİLMESİ İÇİN
BİR YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu GÜR

(102113103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.06. 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 08.07.2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa TÜRk (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Murat CANYILMAZ (F.Ü)

TEMMUZ-2013

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Mustafa TÜRK'e ve her konuda desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür eder, saygılar sunarım.

Duygu GÜR

ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR.....	XI
ÖZET.....	XII
SUMMARY.....	XIII
1.GİRİŞ.....	1
2.DÖNÜŞÜM TABANLI SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ.....	5
2.1 Dalgacık (Wavelet).....	5
2.2 Dalgacık Dönüşümü	6
2.3 Zaman Frekans Analizi.....	7
2.3.1 Zaman Frekans Analiz Yöntemleri	8
2.4 Sürekli Dalgacık Dönüşümü.....	8
2.5 Ayırık Dalgacık Dönüşümü.....	9
2.6 Dalgacıkların Sınıflandırılması	10
2.6.1 Sonlu ve Sonsuz Dalgacıklar.....	10
2.6.2 Biortogonal ve Ortogonal Dalgacıklar	10
2.6.2.1 Daubechies	11
2.6.2.2 Coiflets	12
2.6.2.3 Symlets	12
2.6.2.4 Biortogonal	13
2.7 Fourier Dönüşümleri	13
2.7.1 Sürekli Zamanlı Sinyallerin ve Sistemlerin Fourier Çözümlemesi.....	13
2.8 Fourier Dönüşümü.....	15
2.8.1 Durağan ve Sürekli Sinyallerin Fourier Dönüşümleri.....	16
2.9 Fourier Dönüşüm Teknikleri	18
2.9.1 Ayırık Fourier Dönüşümü	18
2.9.2 Hızlı Fourier Dönüşümü.....	18

2.9.3 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	19
2.10 Dalgacık Dönüşümü ile Gürültü Bastırma	22
2.10.1 Gürültü Süzme.....	25
2.10.2 Dalgacık Eşikleme İle Gürültü Bastırma Temelleri	25
2.10.2.1. Sert Eşikleme (Hard Thresholding).....	26
2.10.2.2 Yumuşak Eşikleme (Soft Thresholding)	27
2.11 Fourier Dönüşümü ile Dalgacık Dönüşümünün Kıyaslanması	28
3. FİLTRELEME TABANLI YÖNTEMLER	30
3.1 Zaman Bölgesi ve Frekans Bölgesi Parametreleri.....	31
3.1.1 Zaman Bölgesi Parametreleri	31
3.1.2 Frekans Parametreleri	31
3.2 FIR ve IIR Filtreler	34
3.3 Sayısal Filtrelerin Tasarımı	35
3.3.1 FIR Filtrelerin Tasarımı.....	35
3.3.1.1 FIR Filtrelerin Pencereleme Yöntemiyle Tasarlanması	36
3.3.1.1.1 Hamming Penceresi	38
3.3.1.1.2 Hanning Penceresi	39
3.3.1.1.3 Rectangular (Dikdörtgen) Pencere	39
3.3.1.1.4 Blackman Pencere	40
3.3.1.2 Frekans Örnekleme Yöntemi.....	41
3.3.2 IIR Filtrelerin Tasarımı.....	41
3.3.2.1 IIR Filtre Çeşitleri.....	42
3.3.2.1.1 Butterworth Alçak Geçiren Filtre	42
3.3.2.1.2 Chebyshev Alçak Geçiren Filtre	43
3.3.2.2 IIR Filtre Tasarım Metotları	44
3.3.2.2.1 Dürtü Değişmezliği Yöntemi	44
3.3.2.2.2 Bilineer Dönüşüm Yöntemi.....	45
3.3.2.3 IIR ve FIR Filtreler Arasındaki Farklar	46
4. ÇOK DÜŞÜK FREKANSLI SİNYALLER (VLF) ve UYGULAMALARI	48
4.1 Yer-İyonküre Dalga Kılavuzu	48
4.2 Radyo Haberleşmesi	49
4.3 İyonkürenin Katmanları.....	50
4.3.1 D Bölgesi	51

4.3.2 E Bölgesi	52
4.3.3. F Bölgesi.....	52
4.4. VLF Sinyallerindeki Tedirginlikler	53
4.4.1 Erken/Hızlı VLF Olayları.....	53
4.4.2 Yıldırım Etkili Elektron Yağışı Olayları (LEP)	55
4.5 VLF Veri Kayıt Sistemi.....	59
5. MATLAB’TE GRAFİKSEL KULLANICI ARABİRİM (GUI) TASARIMI	62
5.1 GUI Oluşturma Metotları	62
5.2 Matlab Guide Aracı İle Arabirim Oluşturma	63
5.3 Nesneleri Çalışma Penceresine Yerleştirme.....	64
5.3.1 Tasarımda Kullanılan Nesneler	64
5.3.1.1 Basmalı Düğme (Push Button).....	64
5.3.1.2 Radio Buton.....	65
5.3.1.3 Edit Text	65
5.3.1.4 Static Text.....	65
5.3.1.5 Pop-up Menu	65
5.3.1.6 Button Group	65
5.3.1.7 Panel	65
5.3.2 GUI Nesnelerinin Biçimlendirilmesi.....	65
5.3.3 Tasarlanan Arabirim.....	68
6. SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Dalga ve Dalgacık	6
Şekil 2.2 Ölçeğe bağlı değişim	9
Şekil 2.3 a) Morlet b) Mexican Hat c)Meyer	10
Şekil 2.4 Haar Dalgacığı	11
Şekil 2.5 Daubechies Dalgacık Ailesi	11
Şekil 2.6 Coiflets Dalgacık Ailesi	12
Şekil 2.7 Symlets Dalgacık Ailesi	12
Şekil 2.8 Biortogonal Dalgacık Ailesi.....	13
Şekil 2.9 Temel, ikinci ve üçüncü harmoniklerin Toplamı	14
Şekil 2.10 Gibbs Olgusu	15
Şekil 2.11 Durağan sinyal	16
Şekil 2.12 Durağan Sinyalin Fourier Dönüşümü	16
Şekil 2.13 Sürekli Sinyal	17
Şekil 2.14 Durağan Olmayan Sinyalin FourierDönüşümü.....	17
Şekil 2.15 Zaman-Frekans İlişkisi	20
Şekil 2.16 a Değerine Bağlı Sinyal Genişliği	20
Şekil 2.17 $a=0.01$ Durumu İçin Zaman-Frekans Karakteristiğı	21
Şekil 2.18 $a=1$ İçin Zaman-Frekans Karakteristiğı.....	21
Şekil 2.19 s Sinyalinin Alçak Geçiren ve Yüksek Geçiren Filtre ile Filtrelenmesi	23
Şekil 2.20 Dalgacık Ayırıştırma Ağacı.....	23
Şekil 2.21 db3 Dalgacığı ile Ayırıştırılan Gürültülü Sinyal	24
Şekil 2.22 cA ve cD Katsayıları	24
Şekil 2.23 Sert (Hard) Eşikleme	27
Şekil 2.24 Yumuşak (Soft) Eşikleme	27
Şekil 2.25 KZFD ile Dalgacık Dönüşümünün Karşılaştırılması	29
Şekil 3.1 Filtrelerin İmpuls, Birim Basamak,Frekans Tepkileri	30
Şekil 3.2 Zaman Parametreleri	32
Şekil 3.3 Frekans Tepkileri	32

Şekil 3.4 Alçak geçiren bir filtrenin frekans bölgesinde iyi bir performans göstermesini sağlayan parametreler	33
Şekil 3.5 Alçak Geçiren Filtre Parametreleri.....	36
Şekil 3.6 Pencere Fonksiyonu Spektrumu	37
Şekil 3.7 N=64 için Hamming Pencere	39
Şekil 3.8 N=64 için Hanning Pencere	39
Şekil 3.9 N=64 için Dikdörtgen Pencere	40
Şekil 3.10 N=64 için Blackman Pencere	40
Şekil 3.11 Dereceye Bağlı Kazanç - Frekans	43
Şekil 3.12 N=5 ve N=6 için Chebyshev I Filtresinin Frekans Tepkileri	43
Şekil 3.13 N=5 ve N=6 için Chebyshev II Filtresinin Frekans Tepkileri.....	44
Şekil 3.14 s-z düzlemi ilişkisi.....	46
Şekil 4.1 Radyo Dalga Özellikleri.....	49
Şekil 4.2 İyonküre Katmanları	51
Şekil 4.3 İyonküre Elektron Yoğunluğu.....	51
Şekil 4.4 E/F Olayı	54
Şekil 4-5 LEP Olayları	56
Şekil 4.6 Karakteristik Spektrum.....	57
Şekil 4.7 Isık Dalgası Yayılmı	57
Şekil 4.8 İkinci İyonlaşmaya Oluşumu	58
Şekil 4.9 VLF Alıcı Sistemi Blok Diagram.....	59
Şekil 5.1 Guide Çalışma Alanı Penceresi.....	62
Şekil 5.2 Guide	63
Şekil 5.3 GUI Çalışma Alanı.....	64
Şekil 5.4 Özellik Denetleyicisi	66
Şekil 5.5 Özellik Denetleyicisi ile Biçimlendirme	66
Şekil 5.6 M-File Editor Erişimi	67
Şekil 5.7 (Callback) Geri Bildirim Erişimi.....	67
Şekil 5.8 Tasarlanan Arabirim Akış Şeması.....	69
Şekil 5.9 Tasarlanan Arabirim Ana Sayfası	70
Şekil 5.10 İstenen VLF Verisinin Arabirime Çizdirilmesi.....	70
Şekil 5.11 VLF Verisinin Haar Dalgacığı ile 1. Seviyeden Ayrıştırılması	71

Şekil 5.12 Yumuşak Eşikleme Kullanılarak Haar Dalgacığı ile 1. Seviyeden Gürültü Bastırma	71
Şekil 5.13 Yumuşak Eşikleme Kullanılarak Haar Dalgacığı ile 6. Seviyeden Gürültü Bastırma	72
Şekil 5.14 Filtre Tercih Penceresi	72
Şekil 5.15 FIR Filtre Tasarım Penceresi.....	73
Şekil 5.16 Orijinal Veri, Tasarlanan FIR Filtre, Gürültüsü Bastırılmış Veri	73
Şekil 5.17 IIR Filtre Tasarım Penceresi.....	74
Şekil 5.18 Orijinal Veri, Tasarlanan IIR Filtre, Gürültüsü Bastırılmış Veri	74

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Eşik Seçim Kuralı.....	26
Tablo 3.1 FIR Filtre Tasarımında Kullanılan Pencere Fonksiyonları	38

SEMBOLLER LİSTESİ

$\mathbf{x(t)}$	: Sürekli Sinyal
$\mathbf{x[n]}$	: Ayrık Zamanlı Sinyal
$\mathbf{X_{WT}(\tau,s)}$	: Dönüştürülmüş Sinyal
$\mathbf{s}$	: Ölçek Parametresi
$\mathbf{\tau}$	: Geçiş Parametresi
	: Temel dalgacık
$\mathbf{dbN}$	: Daubechies
$\mathbf{symN}$	: Symlets
$\mathbf{coifN}$	: Coiflets
$\mathbf{W_N}$	: AFD Matrisi
$\mathbf{cA}$	: Yaklaşık Katsayıları
$\mathbf{cD}$	: Detay Katsayıları
$\mathbf{X(k)}$	: Bir Dizin N noktalı AFD'si
$\mathbf{\sigma^2}$	: Gürültü Değişimi
	: Eşik Değeri
$\mathbf{y(nT)}$	: Filtre Yanıtı
$\mathbf{\omega_p}$	: Geçirme bandı köşe frekansı
$\mathbf{\omega_s}$	: Durdurma bandı köşe frekansı
$\mathbf{R_p}$	: Geçirme Bandı Zayıflaması (dB)
$\mathbf{A_s}$	: Durdurma Bandındaki Zayıflaması (dB)
$\mathbf{N}$	: Filtre Derecesi
	: Geçirme Bandı Ripple Faktörü
$\mathbf{H(z)}$	: Ayrık Zamanlı Filtre Transfer Fonksiyonu
$\mathbf{1}$	: İdeal Geçirme Bandı Tepkisi İçin Kabul Edilebilir Tolerans Değeri
$\mathbf{2}$	: Durdurma Bandı Tolerans Değeri
$\mathbf{LEP}$	: Yıldırım Etkili Elektron Yağışı

KISALTMALAR

VLF	: Çok Düşük Frekans (Very Low Frequency)
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
DSD	: Dalgacık Serisi Dönüşümü
KZFD	: Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform)
AZFD	: Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
FIR	: Sonlu İmpuls Tepkisi
IIR	: Sonsuz İmpuls Tepkisi
GPS	: Küresel Konum Sistemi
GUI	: Grafiksel Kullanıcı Arabirim

ÖZET

VLF (3-30 kHz) çok düşük frekanslı radyo dalgaları, atmosferin iyonize olmuş en alt tabakası ile dünyanın yüzeyi arasında şekillenen yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılırlar. VLF sinyallerinin özellikleri, alt iyonküredeki bölgesel karışıklıkların geçici yapılarını belirlemede kullanılabilir. Bu teknik VLF Uzaktan Algılama (VLF Remote Sensing) olarak isimlendirilir.

Bu tez çalışmasında Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi'ne kurulu VLF alıcı sisteminde kayıtlı VLF verileri üzerindeki gürültüleri bastırmak amacıyla dönüşüm tabanlı ve filtreleme tabanlı yöntemleri içeren MATLAB GUI ile bir arabirim tasarlanmıştır. Yapılan arabirim ile dönüşüm tabanlı yöntemler kullanılarak VLF verileri dalgacık analizi istenilen dalgacık türü ve seviyesi seçilerek sinyalin yaklaşık ve detay katsayı ayrıştırması yapılabilmekte ve bunları grafiksel olarak görebilmek mümkün olmaktadır. Yine dalgacık dönüşümü ile arabirimde tercihe bağlı olarak eşikleme türü, eşik seçim kuralı, ölçekleme türü, dalgacık türü ile derecesi seçilerek arabirime VLF sinyali ve gürültüsü bastırılmış sinyali çizdirmek mümkün olmaktadır. Benzer şekilde filtreleme tabanlı yöntemler kullanılarak da (FIR-IIR) VLF verilerindeki gürültüyü bastırmak mümkün olmaktadır. FIR filtre tercih edildiğinde arabirimde uygun pencere fonksiyonu, filtre derecesi, kesim frekansı gibi verilerin girilerek arabirime VLF sinyalini, FIR filtreyi ve gürültüsü bastırılmış sinyali çizdirmek mümkün olmaktadır. Aynı şekilde IIR filtre tercih edildiğinde Butterworth, Chebyshev I, Chebyshev II filtrelerinden birini seçerek, filtre derecesi ve kesim frekansı verileri girilerek arabirime VLF verisini, IIR filtreyi ve gürültüsü bastırılmış sinyali çizdirmek mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler : VLF, Dalgacık Dönüşümü, FIR Filtre, IIR Filtre, MATLAB GUI, Gürültü Bastırma.

SUMMARY

REMOVING THE DISTURBANCES AT VLF SIGNALS WITH DEVELOPED A SOFTWARE

Very Low Frequency (VLF) radio waves are guided by spherical waveguide formed between the Earth's surface and the lower edge of the ionized portion of the atmosphere. These waves are in the range of 3 kHz to 30 kHz and can efficiently propagate across long distances.

In this thesis, Using MATLAB gui an interface was designed. This interface is based on wavelet transform and filtering based methods to denoise disturbances of VLF signals. VLF receiving system is established in Science Faculty of Firat University. VLF signals are recorded by this system. With this interface, our goal is realizing wavelet transform and filtering based methods to denoise at VLF signals. For wavelet transform, wavelet types and levels are selected, approximation and detail coefficients determined and these coefficients are plotted on graphics. Also, thresholding types, threshold selection rules, scaling types, wavelet types and order are selected. Finally, original VLF signals and denoised VLF signals are plotted to interface.

Filtering based methods (FIR or IIR Filters) are used to denoise at VLF signals. For FIR filter window function, filter order and cutoff frequency are selected, later VLF signals, FIR filter and denoised VLF signals are plotted on interface. Similarly, for IIR filters one of (Butterworth, Chebyshev I, Chebyshev II) filters type, filter order and cutoff frequency is selected. Finally, original VLF signals and denoised VLF signals are plotted to interface.

Keywords : VLF, Wavelet Transform, FIR Filter, IIR Filter, MATLAB GUI, Denoising.

1. GİRİŞ

Sayısal sinyal işleme teknikleri 17. yüzyıla dayanmaktadır. 1950'lerde gelişmiş sayısal bilgisayarların kullanılması ile sayısal sinyal işlemeye ilgi artmıştır. 1960'lı yılların başında araştırmacılar analog sinyal işleme dışında ayrı bir alan olarak sayısal sinyal işleme konusunda çalışmalara başlamışlardır. Hem teori hem de uygulama açısından önemli gelişmeler elde edilmiştir.

Analog bir sinyalin sayısal sinyal işlemesi üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak analog sinyal sayısal forma dönüştürülür, sinyal sayısal formda işlenir ve son olarak işlenmiş sinyal tekrar analog forma dönüştürülür.

Durağan sinyallerin frekansları zamanla değişmezken, sürekli sinyallerin frekansları zamandan bağımsız değildir. Yani bu durumda sürekli zamanlı sinyalin yapısı gereği, hangi frekansların hangi zaman anında olduğu hakkında bir veri elimizde yokken buna karşılık durağan sinyallerde böyle bir problemle karşılaşılmaz, çünkü durağan sinyallerde frekanslar sabittir. Durağan olmayan sinyaller için Fourier Dönüşümü ile zaman bilgisi kaybolmaktadır. Bundan dolayı geliştirilen Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ile dönüşüm frekansının bir fonksiyonu olduğundan sinyal üzerindeki frekanslar ayrıştırılabilir hale gelir. Bu dönüşümde bu işleme zaman ekseninin kayarak ilerleyen pencereler halinde ilerlediğinden zaman aralığı hakkında bilgi edinmemize imkan sunar. Fakat KZFD'de her frekans için sabit çözünürlük sağlandığından dolayı durağan olmayan sinyaller için kısa zamanlı fourier dönüşümüne alternatif bir yöntem olarak geliştirilen dalgacık dönüşümü zaman ve frekans bölgesi arasında bir köprü oluşturmuştur [1].

Dalgacık analizinde ilk çalışmalar temel fonksiyonların bulunması sinyallerin hem zaman hem de frekans bölgesinde tanımlanması üzerine olmuştur. 1807 yılında Joseph Fourier dalgacık analizinin temelini oluşturan, sinyalin zaman bölgesinden frekans bölgesine geçişini sağlayan Fourier analizinden bahsetmiştir. Daha sonra Fourier serisinin yakınsaması ve ortogonal sistem oluşu nedeniyle frekans analizi ölçek analizine dönüştürüldü. Sinyal zaman bölgesine kaydırılarak ve ölçeklenerek frekans bölgesinde incelendi. Dalgacıklara ilk olarak 1909 yılında Haar'ın tezindeki ekler kısmında rastlanmıştır. 1930'lu yıllarda yapılan çalışmalarda zamanla değişen temel fonksiyonlar kullanılarak, fonksiyonların ifade edilmesi üzerinde durmuşlardır. Haar temel fonksiyonu kullanılarak Fourier fonksiyonuna üstünlüğünü belirtmiştir. 1980 yılından önce Marr

görüntü işlemede etkili bir algoritma geliştirmiştir. 1980'li yıllarda Grossman ve Marlett kuantum fiziği içerisinde dalgacık analizinden genişçe bahsetmiştir. 1985 Yılında Mallat önerdiği dalgacıklarla ortogonal dalgacıkları keşfetmiştir. Bunlardan ilham alan Meyer ilk kompleks dalgacıklardan bahsetmiştir. Birkaç yıl sonra Daubechies, Mallat'ın çalışmalarını kullanarak kullanışlı ve günümüz uygulamalarında temel taş denilebilecek orthonormal dalgacık fonksiyonlarını inşa etmişlerdir [2]. Daubechies, Mallat ve Strang dalgacık teorisine birçok katkıda bulunmuşlardır [3-6]. Fourier dönüşümünün dalganın hem zaman hem frekans karakteristiklerinin tanımlanmasındaki eksikliklerinden dolayı bir grup araştırmacı ölçeği değişken fonksiyonların ifadesi konusunda çalışarak Fourier dönüşümüne göre zaman-frekans karakteristiği hakkında daha iyi bilgi edinmemizi sağlayan, Fourier dönüşümü ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünün eksikliklerini gideren dalgacık dönüşümünü geliştirmişlerdir [3].

Dalgacık, veriyi farklı frekanstaki elemanlara dönüştüren matematiksel fonksiyonlardır [7]. Dalgacık dönüşümü hesap yükünün diğer bilindik analiz tekniklerine göre daha az olmasından dolayı daha iyi analiz imkanı sağlamaktadır. Fourier analizi durağan ve sonlu sinyallerin değerlendirilmesinde az etkili, dalgacıklar ise analiz edilen sinyalin sonlu olmasından dolayı geçici sinyallerin analizinde oldukça etkilidir. Dalgacık analizi, Fourier ve diğer sinyal analiz yöntemlerini elimine etmemekle birlikte bu tekniklere ilave özellikler sağlamıştır [9].

Literatürde, çoklu dalgacık dönüşümün, tekli dalgacık dönüşümüne oranla daha üstün olduğu belirtilmesine rağmen bu dönüşümünün temelinin tekli dalgacık dönüşümüne bağlı olduğu belirtilmiştir [12]. Dalgacık dönüşümü birçok uygulama alanına sahiptir. Dalgacık dönüşümü ile gürültülü sinyallerinin bastırılması ve orijinal veriye yakın bir veri elde etmek mümkündür. Bunun için eşikleme metodu kullanılarak sinyaldeki gürültü bastırılmaya çalışılmıştır. Bu yöntem çoklu çözünürlük analizine dayanmaktadır [27]. Sinyal bu teknikle yaklaşık ve detay katsayılarına ayrıştırılır uygun bir eşik yöntemi, eşik seçim kuralı seçilerek seviyeye bağlı olarak gürültü bastırma sağlanır [28]. Literatürde yumuşak eşiklemenin, sert eşiklemeye göre daha etkili bir eşikleme yöntemi olduğu belirtilmesine rağmen detay özelliklerinin korunmasında yumuşak eşiklemenin zayıf, sert eşiklemenin ise daha iyi olduğu vurgulanmış ve ikisi arasında geçişi sağlayan Qian eşiklemesinden bahsedilmiştir [29]. Diğer bir uygulama alanı olarak dalgacık dönüşümü tekniği ile radar sistemlerinde yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiştir [30]. Aynı

şekilde biyolojik ve çevresel kaynaklı sEMG sinyallerinden gürültüyü kaldırmak büyük bir problem olacağından yine dalgacık dönüşümü ile gürültü bastırma sağlanmıştır [31].

Gürültü bastırmaya yönelik bir diğer yöntem ise filtreleme tabanlı yöntemlerdir. Sayısal filtre tasarımında amaç, verilen bir frekans yanıtını yaklaşık olarak sağlayan gerçekleştirilebilir bir transfer fonksiyonu $G(z)$ elde etmektir. Analog filtreler diferansiyel denklemlerle ifade edilirken, sayısal filtreler fark denklemleri ile ifade edilirler. Başlıca tasarım amaçları arasında, karışmış sinyalleri birbirinden ayırmak, sinyaldeki gürültüyü azaltarak sinyal kalitesini arttırmak ve bozulmuş sinyalin tekrar elde edilmesi olarak sayılabilir. Sayısal filtreler, filtrenin girişine karşı verdiği cevaba göre tekrarsız (sonlu impuls tepkisi FIR) veya tekrarlı (sonsuz impuls tepkisi IIR) olmak üzere iki şekilde uygulanır. FIR filtreler, IIR filtrelere göre daha iyi performans sergiledikleri halde daha yavaştır.

Pratikte FIR filtreler, filtrenin geçirme bandında doğrusal faz özelliği gerektiren problemlerde kullanılırken, doğrusal faz özelliği gerektirmeyen problemlerde hem FIR hem de IIR filtreler kullanılabilir. IIR filtre durdurma bandında daha az yan loblara sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı bazı faz bozunumları önemsiz ise IIR filtrelerin kullanılması tercih edilir. Çünkü IIR filtreler, daha az parametre içerdiklerinde dolayı daha az bellek gerektirir ve hesaplama karmaşıklığı daha azdır [32]. FIR filtre tasarımında, Fourier serisi yöntemi ile frekans örnekleme yöntemi kullanılır [33]. Fourier serisi yöntemi ile sınırlı sayıda değer alındığından dolayı Fourier serisinin aniden kesilmesiyle meydana gelen Gibbs salınımlarını ortadan kaldırmak için pencere fonksiyonları kullanılır [34].

Tez çalışmasında çok düşük frekanslı VLF sinyallerinin iyonosferde maruz kaldıkları gürültüleri bastırmak için dönüşüm tabanlı yöntemler ve filtreleme tabanlı yöntemler üzerine bir kullanıcı arabirim tasarlanmıştır.

VLF çok düşük frekanslı radyo dalgaları, atmosferin iyonize olmuş en alt tabakası ile dünyanın yüzeyi arasında şekillenen yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılırlar. Bu dalgalar 3-30 kHz frekanslarında olup uzak mesafelere kolaylıkla yayılabilirler. Bu sinyallerin genlik ve fazları sinyalin ulaştığı noktadaki iyonosferin elektriksel iletkenliğine bağlıdır. Olumlu şartlar altında VLF sinyallerinin özellikleri, alt iyonküredeki bölgesel karışıklıkların geçici yapılarını belirlemede kullanılabilir [53].

VLF verici sistemi tarafından oluşturulan VLF işaretlerinin atmosfer ortamında iletildikten sonra alıcı tarafta tekrar elde edilmesi için gerekli yapı VLF verici sistemi, VLF

alıcı sistemi, VLF anteni, Ön yükseltici, Hat alıcısı, GPS anteni, Kayıt yazılımı birimlerinden oluşmaktadır. VLF veri kayıt sistemi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde bulunmaktadır. Kayıt sistemi Stanford Üniversitesi Star Lab. İle ortak olarak kurulmuş olup, iyonosferde yayılan çok düşük frekanslı VLF işaretlerinin iletim ortamında maruz kaldığı atmosferik olayların etkisini incelemek amacıyla kurulmuştur.

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümüne kurulu VLF kayıt sistemi iyonosferde gerçekleşen olayları incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Nitekim bundan önceki çalışmalarda bu kayıt sistemi, deprem tahmin yöntemleri ve algoritma geliştirme çalışmalarında [54], yıldırım etkili olaylardan early/fast ile LEP olaylarının olduğu anı tespit etmek amacıyla kullanılan bir veri kaynağı olmuştur.

GUI, içerisinde bulunan nesnelerle kullanıcıya etkileşim sağlayan bir programın oluşturulmasını sağlayan grafiksel bir program arabirimidir. GUI nesneleri menüler, araç çubukları, push butonlar, radyo butonları, grafik nesnesi, kaydırıcılar olabilir. GUI arabirimi M-file programlama yöntemi ve MATLAB GUIDE aracı kullanılmak üzere iki şekilde hazırlanabilir. Tez çalışmasında GUI ile ara birim tasarımına ilk adımı attığımızdan dolayı MATLAB GUIDE aracı kullanılarak pratik olması sağlanmıştır.

Tez temel olarak şu ana başlıklardan oluşmaktadır. İkinci bölümde gürültü bastırma yöntemlerinden olan dalgacık dönüşümünün Fourier Dönüşümüne oranla üstünlüğünden bahsedilmiş olup, dalgacık ailelerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde yine gürültü bastırma yöntemlerinden filtreleme tabanlı yöntemlere değinilmiş, FIR ve IIR filtre tasarım metotlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde iyonosferde yayılan VLF sinyalleri, özellikleri ve iyonosferde meydana gelen yıldırım etkili olaylara değinilmiştir. Son olarak beşinci bölümde ise dönüşüm ve filtreleme tabanlı yöntemler kullanılarak Fırat Üniversitesi Fen Fakültesine yerleştirilmiş olan VLF alıcı sisteminden elde edilen VLF sinyallerindeki düzensizliklerin giderilmesi için tasarlanan bir arabirim sunulmuştur. Bu arabirimde dönüşüm tabanlı yöntemler ve filtreleme tabanlı yöntemler bir arada verilerek kullanıcının en iyi sonuca kısa zamanda ulaşması hedeflenmiştir.

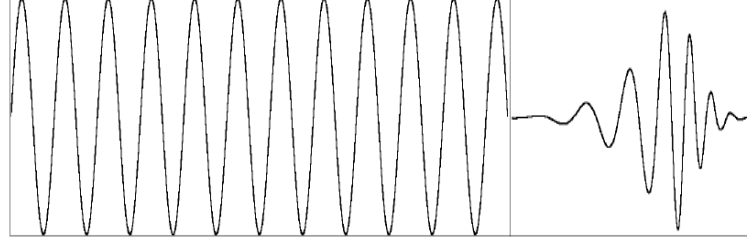
2. DÖNÜŞÜM TABANLI SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ

2.1 Dalgacık (Wavelet)

Dalgacık, veriyi farklı frekanstaki elemanlara dönüştüren matematiksel fonksiyonlardır. Bu fonksiyonların, süreksizlik ve keskin artış durumlarında Fourier metotlarına göre avantajları vardır. Dalgacıklar, durağan olmayan sinyallerin spektral analizleri için kısa zamanlı Fourier dönüşümüne bir avantaj olarak ve zaman ile frekans bölgesi arasında bir köprü oluşturarak matematiğin alanlarında, kuantum fiziğinde, elektrik mühendisliğinde, kullanılmaktadır [1]. Bu alanlar arasındaki etkileşimlerle son 10 yılda görüntü sıkıştırma, radar, deprem tahmini, harmonik analizinde, ses ve görüntü sıkıştırmada ve haberleşme uygulamaları gibi birçok yeni dalgacık uygulamaları gelişmiştir.

Dalgacıklar belirli matematiksel fonksiyonları ifade etmek için kullanılırlar. Bu fikir yeni olmayıp süperpozisyon yaklaşımı 1800'lü yıllardan beri mevcuttur. Dalgacık analizinde ilk çalışmalar temel fonksiyonların bulunması sinyallerin hem zaman hem de frekans bölgesinde tanımlanması üzerine olmuştur [2]. Daubechies, Mallat ve Strang dalgacık teorisine birçok katkıda bulunmuşlardır [3-6]. Dalgacık analizinde ölçekleme önemli rol oynamaktadır. Dalgacık algoritmaları, veriyi farklı ölçeklerle ve çözünürlüklerle işler. Büyük bir pencerede sinyale bakılırsa kaba özellikler görülürken, küçük bir pencerede küçük özellikler görülür. Dalgacık sayesinde sinyaldeki detaylar görülebilir. Bu da dalgacığı ilginç ve kullanışlı yapar. Bilim adamları yıllardır Fourier'in temelini oluşturan sinüs ve kosinüs fonksiyonlarından ziyade değişken sinyalleri tahmin etmek için daha uygun fonksiyonlar istemişlerdir. Bu fonksiyonlar dalgacık analizi ile belirgin süreksizliklerde uygunlaştırılır [7].

Dalgacık sonlu enerjili küçük bir dalga olup, sinyallerin zaman-frekans ifadesini elde etmeye imkan verir. Şekil 2-1'de dalga ile dalgacığın kıyaslanmıştır. Soldaki grafik sonsuz enerjili sin dalgasını ifade ederken, sağdaki grafik sonlu enerjili dalgacığı ifade eder [8].



Şekil 2.1 Dalga ve dalgacık

Dalgacık dönüşümü, matematikçiler tarafından ortaya atılmış temeli Joseph Fourier'e kadar uzanan, bir sinyal işleme tekniğidir. Fourier dönüşümünün tersine, dalgacık dönüşümü ile her bir zaman aralığında sinyalin hem alçak (A) hem de yüksek frekans bileşenlerini (D) hesaplamak mümkündür. Bu yöntemle frekansı zamanla değişen sistemlerin analizi ve geçici durum analizleri oldukça hassas bir şekilde yapılmaktadır. Dalgacık analizi, Fourier ve diğer sinyal analiz yöntemlerini elimine etmemekle birlikte bu tekniklere ilave özellikler sağlamıştır [9]. Dolayısıyla dalgacık dönüşümü durağan olmayan sinyaller için kısa zamanlı fourier dönüşümüne alternatif bir yöntem olup zaman ve frekans bölgesi arasında bir köprü oluşturmuştur [1].

1980 yılından önce Marr görüntü işlemede etkili bir algoritma geliştirmiştir. 1980'li yıllarda Grossman ve Marlett kuantum fiziği içerisinde dalgacık analizinden genişçe bahsetmiştir. 1985 Yılında Mallat önerdiği dalgacıklarla quadrature mirror filtreleri, pyramidol algoritmaları ve ortogonal dalgacıkları keşfetmiştir. Bunlardan ilham alan Meyer ilk kompleks dalgacıklardan bahsetmiştir. Birkaç yıl sonra Daubechies, Mallat'ın çalışmalarını kullanarak kullanışlı ve günümüz uygulamalarında temel taş denilebilecek orthonormal dalgacık fonksiyonlarını inşa etmişlerdir [2].

2.2 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümleri nümerik analiz, sinyal ve görüntü işleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanışlı bir araçtır. Dalgacık dönüşümü literatüründe sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), ayrık dalgacık dönüşümü (ADD), dalgacık serisi dönüşümü (DSD) olmak üzere üç çeşit dönüşüm yer almaktadır. SDD ve DSD sürekli zamanlı sinyaller için

tanımlı olduğundan sinyal analizi için, AFD ise ayrık zamanlı sinyaller için tanımlı olduğundan genellikle sinyal kodlama için kullanışlıdır [10].

Dönüşüm, bir sinyalin orijinal haline göre daha fazla bilgi edinmemizi sağlayacak şekilde sinyalin yeniden çizdirilmesidir. Fourier dönüşümü, sinyalin frekans bilgisi açısından yeni bakış açıları kazandırdığından bu tanıma çok uygundur. Fakat Fourier dönüşümünün dalganın hem zaman hem frekans karakteristiklerinin tanımlanmasındaki eksikliklerinden dolayı farklı yaklaşımlar gelişmiştir. Dalgacık dönüşümü, zamanla değişen dalganın özelliklerini tanımlamak için kullanılan diğer bir yoldur fakat bu durumda dalga zamanın bölümlerine değil skala segmentlerine ayrılır. Dalgacık dönüşümü, bir sinyalin zaman-frekans ifadesini elde etmeyi sağlar. Bu dönüşüm ile durağan olmayan sinyallerin analiziyle birlikte Kısa zamanlı Fourier Dönüşümünün (Short Time Fourier Transform-KZFD) eksik yanlarının giderilmesi üzerine geliştirilmiştir. KZFD bütün frekanslarda sabit çözünürlük sağlarken, dalgacık dönüşümü ise farklı frekanslarda farklı çözünürlüklerin elde edilmesini sağlayan çoklu çözünürlük (multi-resolution) tekniklerini kullanır [11]. Literatürde çoklu dalgacık dönüşümün, tekli dalgacık dönüşümüne oranla daha üstün olduğu belirtilmesine rağmen bu dönüşümünün temelinin tekli dalgacık dönüşümüne bağlı olduğu belirtilmiştir[12].

Dalgacık analizi, KZFD analizine benzer olarak yapılır. Analiz edilen sinyalin, KZFD’de sinyalin bir pencere fonksiyonu ile çarpılması gibi, dalgacık analizinde sinyal bir dalgacık fonksiyonu ile çarpılır, daha sonra her oluşan segment için dönüşüm hesaplanır. Bununla birlikte KZFD’nin tersine dalgacık dönüşümünde her spektral elemanla dalgacık fonksiyonunun genişliği değişir. Dalgacık dönüşümü, yüksek frekanslarda kuvvetli zaman çözünürlüğü ile zayıf frekans çözünürlüğü sağlarken düşük frekanslarda kuvvetli frekans çözünürlüğü ve zayıf zaman çözünürlüğü sağlar [13].

2.3 Zaman Frekans Analizi

Zamana bağlı olarak işaretlerin özellikleri değişmiyorsa durağan sinyal, değişiyorsa da durağan olmayan sinyaller olarak isimlendirilir. Zamanla özelliği değişmeyen işaretler Fourier dönüşümü ile incelenirken, durağan olmayan işaretler için Fourier dönüşümü yetersiz kalacaktır [14]. Zamana bağlı sürekli değişken bir $x(t)$ fonksiyonu için zamandaki frekans bileşenleri Fourier dönüşümü ile bölgesel olarak incelenebilir. Bu dönüşümle işaretin sadece frekans dağılımı elde edilirken, zaman bilgisine ulaşılamaz. Bu da aralıklar

arasında işaretin frekans bilgisinde önemli ölçüde değişiklik olması durumunda işarettteki bölgesel düzensizlikleri kaldırır. Bundan dolayı Fourier dönüşümü durağan olmayan işaretlerin incelenmesinde yeterli olmayacağından zaman–frekans analiz metodu kullanılarak işaretin zamana karşı ani frekans bileşenlerinin elde edilmesini sağlar [15] .

2.3.1 Zaman Frekans Analiz Yöntemleri

Sinyallerin zaman-frekans bölgesi analizleri için Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümleri kullanılır.

Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü, Fourier dönüşümünün sürekli sinyallerde zaman bilgisini kaybettiğinden dolayı bu sorunun üstesinden gelebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Böylece sürekli sinyallerde de Fourier dönüşümün uygulanması, dönüşümü yapılacak olan $f(t)$ sinyali önce konumu $t = \tau$ da olan bir $g(t)$ pencere fonksiyonu ile çarpılır. Daha sonra Fourier dönüşümü uygulanır. Kısa zamanlı Fourier dönüşümünde, giriş sinyali tüm zamanlarda çarpılır. Dönüşüm frekansın bir fonksiyonu olduğundan sinyal üzerindeki tüm frekanslar ayrıştırılabilir hale gelir. Bu dönüşümde bu işlem zaman ekseninde kayarak ilerleyen pencereler halinde ilerler ve bu da bize zaman aralığı bilgisi verir. Dönüşüm sırasında alınan integral tüm sinyal için değil de sadece pencere içerisini kapsamasından dolayı frekans çözünürlüğü ile zaman çözünürlüğü birbirleri ile ters orantılıdır.

Dalgacık (Gabor) dönüşümünde ise pencere fonksiyonu olarak kullanılan Gauss fonksiyonu mümkün olabilen minimum zaman- band genişliği çarpımına sahip olup mümkün olabilen en iyi zaman-frekans çözünürlüğünü sağlar. Yani sinyalleri harmoniklere bölme yerine fonksiyon bir seri dalgacık denilen bölümlere ayrılır.

2.4 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

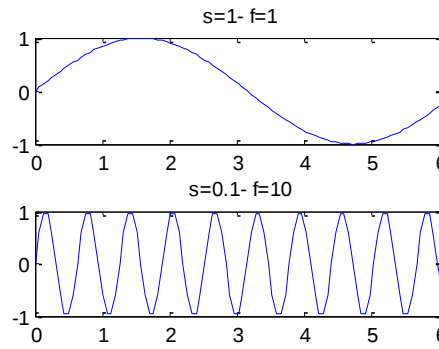
Sürekli dalgacık dönüşümüyle zamana göre frekansı değişen sinyallerin analizinde, zaman–frekans diyagramı elde edilir. Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), analiz edilen $x(t)$ sinyalinin bulunduğu;

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi dt \quad (2.1)$$

denklemleri ile gerçekleşir. Burada $\Psi(t)$ temel dalgacık ya da temel fonksiyondur. Dönüştürülmüş sinyal, sırasıyla geçiş ve ölçek parametrelerini ifade eden ve s değişkenlerine bağlıdır. Dönüşümde kullanılan bütün dalgacık fonksiyonları, kayma veya ölçekleme yoluyla ana dalgacıktan elde edilir.

Bütün temel fonksiyonları toplamak için kullanılan ana dalgacık, fonksiyonla ilgili istenen karakteristiklere dayalı olacak şekilde tasarlanır. geçiş parametresi dalgacık fonksiyonunun sınırıyla ilgilidir. Dolayısıyla dalgacık dönüşümünde zaman bilgisiyle ilgilidir. Ölçek parametresi s , $1/|frekans|$ şeklinde tanımlanır ve frekans bilgisi ile ilgilidir. Dalgacık katsayıları (s, τ) farklı geçiş ve skalalarda dalga ve dalgacık arasındaki ilişkiyi, benzerliği ifade eder. Dalgacık dönüşümünde ölçek, frekansa alternatif bir parametre olarak kullanılır.

Ölçekleme, ya bir sinyalin ayrıştırılmasıyla ya da sıkıştırılmasıyla elde edilir. Düşük frekanslı büyük ölçekler sinyali ayrıştırır ve sinyal içine gizlenmiş detaylı bilginin elde edilmesini sağlarken, yüksek frekanslı küçük ölçekler sinyali sıkıştırır ve sinyal hakkında genel bilgiler elde edilir [13]. Şekil 2.2’de en küçük ölçek $s=0.1$, en büyük ölçek $s=1$ ’dir.



Şekil 2.2 Ölçeğe bağlı değişim

2.5 Ayırık Dalgacık Dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü, temel dalgacığın zaman düzleminde ölçeklenmiş ve ötelenmiş halleriyle çarpılan sinyalin tüm zaman boyunca toplamıdır. Bu işlemlerin sonucunda ölçeğe ve konuma bağlı olarak dalgacık katsayıları elde edilir. Sürekli Dalgacık Dönüşümde hesap yükü çok fazla olduğundan hesap yükünü azaltmak için Ayırık Dalgacık Dönüşümü kullanılır.

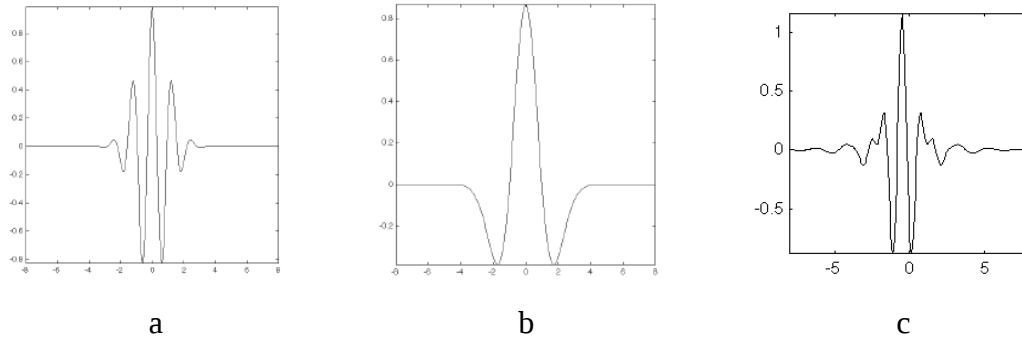
Eğer ölçekleme ve öteleme ikinin üsleri şeklinde seçilirse çözümlemeler sürekli dalgacığa göre daha etkili ve sürekli dalgacık dönüşümü kadar doğru sonuç verir. Bu çeşit çözümlemeye ayrık dalgacık dönüşümü denir.

2.6 Dalgacıkların Sınıflandırılması

Dalgacıklar farklı şekillerde farklı gruplara ayrılabilirler. Dalgacıklar sonlu ve sonsuz uzunluklu dalgacıklar olmak üzere incelenebilirken [16] diğer en çok kullanılan sınıflandırma şekli ise ortogonal ve bioortogonal dalgacıklardır [17].

2.6.1 Sonlu ve Sonsuz Dalgacıklar

Sonlu dalgacıkların hızlı algoritma ve yapılandırma mevcut değildir. Gauss dalgacıkları, morlet, mexican hat dalgacıkları bu grupta incelenir. Sonlu dalgacıkların çoklu çözünürlüklü filtrelerle bağıntılarından dolayı sonsuz dalgacıklara göre daha çok tercih edilirler. Meyer dalgacığı sonsuz dalgacık grubunda yer alır. Simetrik olup, hızlı algoritmaya sahip değildir.



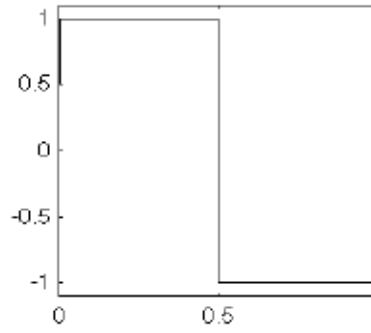
Şekil 2.3 a) Morlet b) Mexican Hat c)Meyer

2.6.2 Biortogonal ve Ortogonal Dalgacıklar

Ortogonal dalgacıklar düzenli bir yapılarından dolayı kolay değerlendirilmeye ve ölçeklenebilir bir yapıya sahiptir. Daubechies (dbN), symlets (syN), coiflets (coifN) bu gruba dahildir.

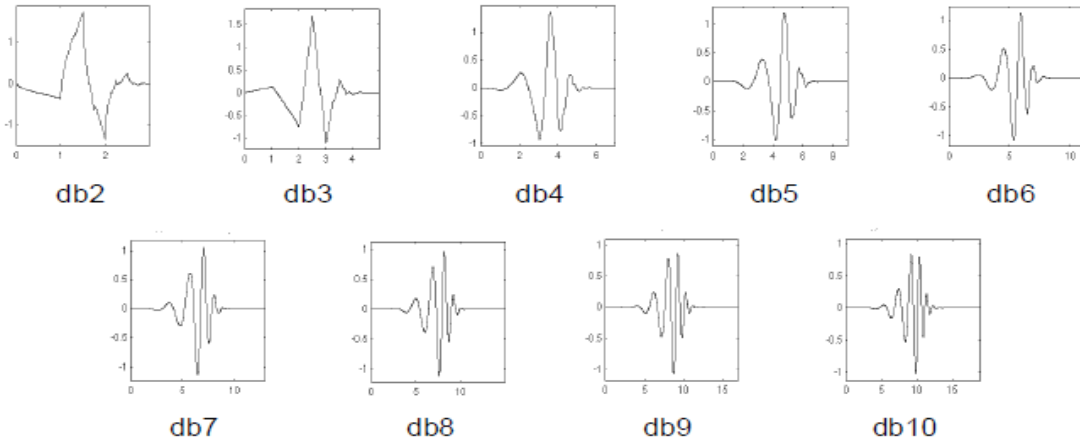
2.6.2.1 Daubechies

Ingrid Daubechies'in, sunduğu dalgacıklar ayrık zamanda dalgacık analizinin gerçekleşmesine imkan sağlamıştır. Dalgacık ve ölçekleme fonksiyonuna sahip olan bu dalgacık türünün derecesi 1'den 8 'e kadar değişim göstermektedir. 1. Dereceden Daubechies dalgacığı Haar dalgacığı olarak bilinip, birim basamak fonksiyonuyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.4 Haar dalgacığı

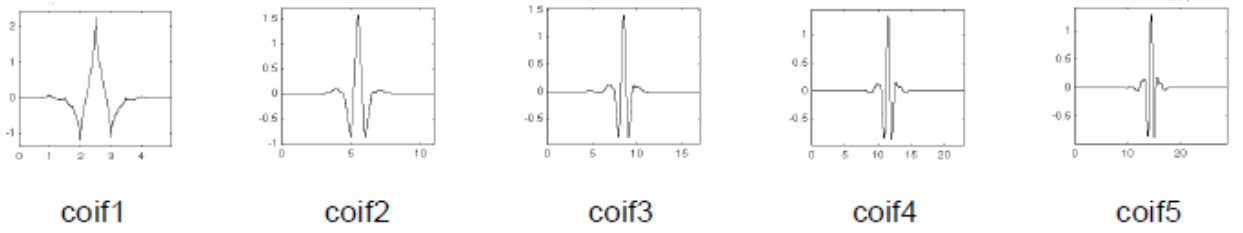
Daubechies fonksiyonlarının derecesi, dalgacık fonksiyonun sıfırlandığı anları (vanishing moments) ifade eder. Sıfırlanma anlarının artması, daha iyi frekans lokalizasyonu sağlamaktadır.



Şekil 2.5 Daubechies dalgacık ailesi

2.6.2.2 Coiflets

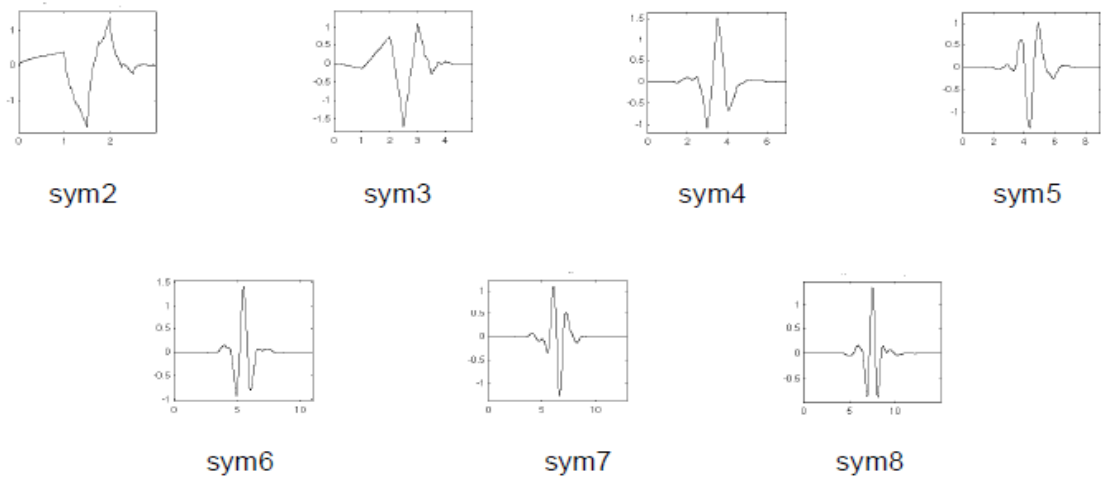
Ingrid Daubechies'in temellerini atmasıyla R. Coifman tarafından geliştirilmiştir. Coiflets dalgacıkları, Daubechies dalgacıklarına göre daha simetrik ve daha fazla sıfırlanma anlarına sahiptir. Dalgacık fonksiyonu ve ölçeklenme fonksiyonu 1'den 5. seviyeye kadar derecelendirilebilmektedir.



Şekil 2.6 Coiflets Dalgacık Ailesi

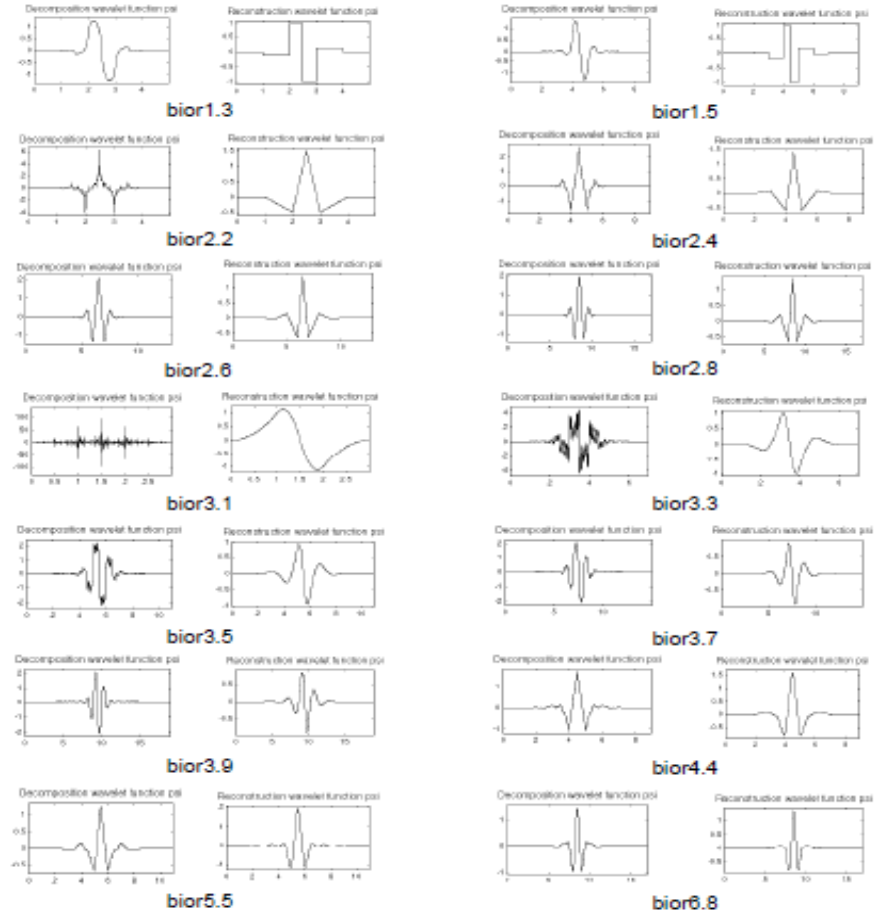
2.6.2.3 Symlets

Symlets dalgacıkları, Ingrid Daubechies'in öne sürdüğü db dalgacık ailesinin özelliklerine yakın olup, simetriye yakın özellik göstermektedir. Dalgacık fonksiyonu ve ölçeklenme fonksiyonu 2'den 8. seviyeye kadar derecelendirilebilmektedir.



Şekil 2.7 Symlets dalgacık ailesi

2.6.2.4 Biortogonal



Şekil 2.8 Biortogonal dalgacık ailesi

2.7 Fourier Dönüşümleri

2.7.1 Sürekli Zamanlı Sinyallerin ve Sistemlerin Fourier Çözümlemesi

Fourier serileri veya Fourier dönüşümü, zaman bölgesi sinyallerini frekans bölgesi gösterimlerine dönüştürür. Bu dönüşümler sinyallerin spektral gösterimlerini sağlamasının yanı sıra, frekans bölgesinde belli sistemlerin ve özelliklerinin betimlenmesinde de rol oynar. Fourier serilerinde bazı çeşit simetri özelliklerine göre hangi terimlerin olabileceğini tahmin etmek mümkündür. Trigonometrik Fourier serilerinin hesaplanmasında kullanılan üç simetri çeşidi [18];

*Tek Simetri: Bir $f(t)$ işareti tek fonksiyon ise seri sadece sinüslü terimleri içerir, diğer bir deyişle bütün a_k katsayıları sıfır olur.

$-f(-t)=f(t)$ ise

$$f(t)= \quad (2.2)$$

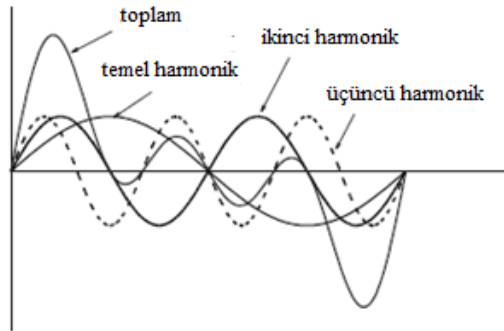
*Çift Simetri: Bir $f(t)$ işareti çift fonksiyon ise seri sadece kosinüslü terimleri içerir, diğer bir deyişle bütün b_k katsayıları sıfır olur. DC terim sıfır veya sıfırdan farklı olabilir.

$f(-t)=f(t)$ ise

$$f(t)= \quad + \quad (2.3)$$

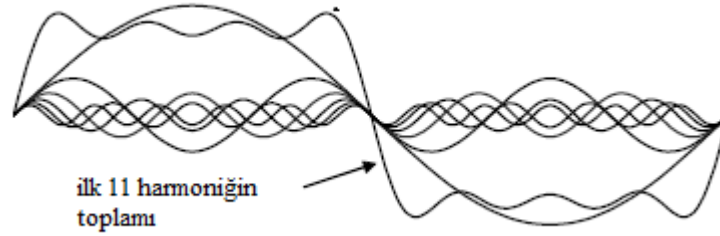
*Yarım-Dalga Simetrisi: Bir $f(t)$ işareti yarım dalga simetrisine sahipse, sadece tek harmonikler olur. Bütün çift harmonikler sıfır olur.

Periyodik bir işaret Fourier serileri ile ifade edilip bu ifade DC, temel, ikinci... harmoniklerin toplamı şeklindedir. Şekil 2.9 ilk üç harmoniği ve bu harmoniklerin toplamını göstermektedir.



Şekil 2.9 Temel, ikinci ve üçüncü harmoniklerin toplamı

Şekil 2.10, ilk 11 harmoniği ve bu harmoniklerin toplamını göstermektedir. Görüldüğü gibi toplanan harmonik sayısı arttıkça toplam, kare dalgaya benzemektedir. Buna karşı dalga tepeleri düzleşmediğinden bu durum Gibbs Olgusu olarak bilinir.



Şekil 2.10 Gibbs olgusu [43]

2.8 Fourier Dönüşümü

İşaretlerin Fourier gösterimi hem sürekli zamanlı hem de ayrık zamanlı işaret işlemede son derece önemli bir rol oynamaktadır. Böylece işaretlerin bir diğer bölgeye eşleştirilmesi ve dolayısıyla üzerinde çalışılabilmesi için bir yöntem sunmaktadır. Zamanın periyodik fonksiyonları için Fourier serileri, belli frekanslarda sıfır olmayan ayrık çizgi spektrumu oluştururlar. Bununla birlikte birim basamak, birim impuls, birim rampa ve tek kare dalga periyodik değildir. Bu fonksiyonların frekans spektrumları sürekliir.

Bir nonperiyodik sinyal, periyot aralığı $-\infty$ ile $+\infty$ arasında uzanan periyodik sinyal gibi düşünülürse fonksiyonun integrali;

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.4)$$

Fourier dönüşümü, genelde kompleks bir fonksiyon olup bu fonksiyon reel ve imajiner elemanların toplamından oluşur.

$$F(\omega) = \text{Re}\{F(\omega)\} + j \text{Im}\{F(\omega)\} \quad (2.5)$$

Bu fonksiyonun kompleks üstel gösterimi;

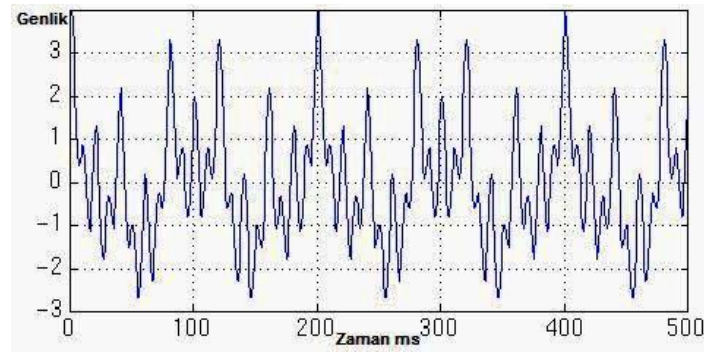
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.6)$$

Ters Fourier Dönüşümü;

$$f(t) = \frac{1}{d} \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{j2\pi f t} df \quad (2.7)$$

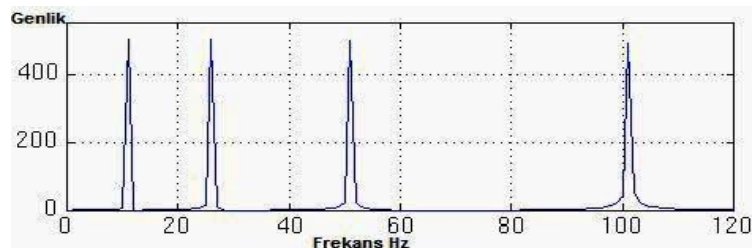
2.8.1 Durağan ve Sürekli Sinyallerin Fourier Dönüşümleri

Durağan sinyallerin frekansları zamanla sabitken, sürekli sinyallerin frekansları zamandan bağımsız değildir. Yani bu durumda sürekli zamanlı sinyalin yapısı gereği, hangi frekansların hangi zaman anında olduğu hakkında bir veri elimizde yokken buna karşılık durağan sinyallerde böyle bir problemle karşılaşılmaz, çünkü durağan sinyallerde frekanslar zamanla sabittir [19].



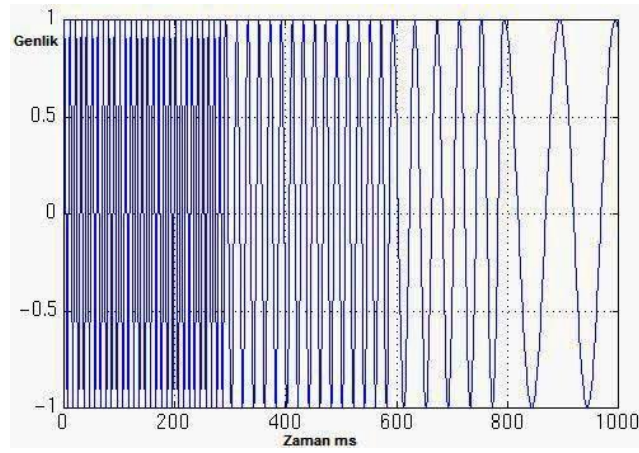
Şekil 2.11 Durağan sinyal

Şekil 2.11’de dört farklı frekansa sahip durağan bir sinyal görülmektedir. Durağan sinyalde tüm frekanslar zaman ekseninin tamamına yayılmıştır. Yani herhangi bir t anında tüm frekanslar mevcuttur. Sinyalin başlangıcındaki frekanslar zamanla değişmemektedir. Şekil 2.12’ye bakıldığında frekans bileşenleri net bir şekilde görülmektedir.

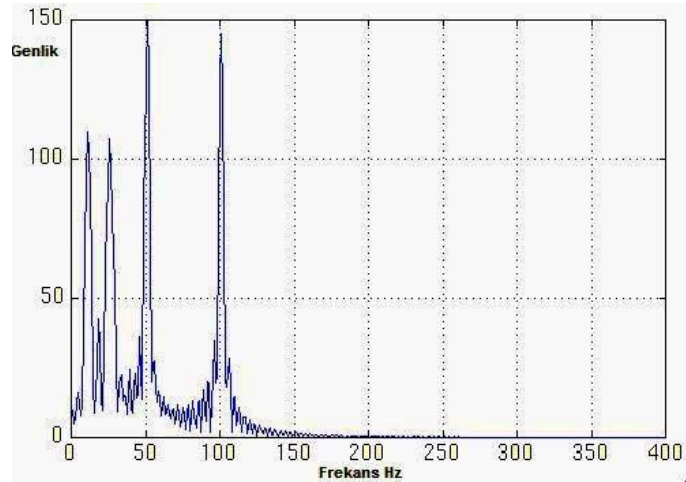


Şekil 2.12 Durağan sinyalin fourier dönüşümü

Şekil 2.13'te yine aynı frekans bileşenlerine sahip, durağan olmayan sinyal gösterilmiştir. Sürekli sinyallerin frekansları zamana bağlıdır. Şekilden de anlaşılacağı gibi sinyal, 0-300 ms, 300-600 ms ,600-800 ms ve 800-1000 ms arasında farklı frekanslar içermektedir. Bu sinyalin Fourier dönüşümü Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Frekanslar arasındaki genlik farklılıkları ve dalgacıklar önemsenmezse bu dönüşüm durağan sinyalin Fourier dönüşümü ile aynıdır. Aradaki dalgacıklar frekanslardaki ani değişikliklerden kaynaklanmaktadır [20].



Şekil 2.13 Sürekli sinyal



Şekil 2.14 Durağan olmayan sinyalin fourier dönüşümü

2.9 Fourier Dönüşüm Teknikleri

Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (DTFT-AZFD), ayrık zamanlı sinyal işleme algoritma ve sistemlerinin analizi, tasarımı, gerçekleştirilmesi ile doğrusal filtreleme, korelasyon analizi ve spektrum analizi gibi sinyal işleme uygulamalarında önemli bir rol oynar. AFD' nin bu öneme sahip olmasının ardındaki temel neden AFD' yi hesaplamakta kullanılan verimli algoritmaların varlığıdır [21-22].

AFD, Fourier dönüşümünün eşit aralıklı frekanslardaki örneklerine özdeştir. Sonuç olarak N -noktalı bir AFD'nin hesaplanması Fourier dönüşümünün N örneğinin, N eşit aralıklı frekanslarla ($w_k = 2\pi k / N$), z -düzlemindeki birim çember üzerinde N nokta ile hesaplanmasına karşılık gelir. Burada temel amaç N -noktalı AFD'nin hesaplanması için verimli algoritmaların kullanılmasıdır. Bu algoritmalar ortak olarak hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritmaları adını alır.

2.9.1 Ayrık Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü zaman bölgesinde verilen sinyalin frekans düzlemindeki belirtilişini tanımlar. Ayrık Fourier dönüşümü (AFD) ise bir fonksiyonun sonlu sayıdaki örneğinin Fourier dönüşümünü elde etmeyi sağlar. Ayrık Fourier dönüşümü (AFD), sürekli Fourier dönüşümünün sahip olduğu simetri özelliklerinin hemen hemen aynısına sahiptir. Ayrık Fourier dönüşümü örneklenmiş sinyallerin diğer bir deyişle ayrık zaman düzleminde verilen sinyallerin frekans spektrumlarının elde edilmesi için kullanılır.

$$X(k) = 0 \quad (2.8)$$

Burada $X(k)$ = denkleminde gösterilen Ayrık Fourier Dönüşümünün (AFD) doğrudan hesaplanmasında her bir $X(k)$ değeri için N adet karmaşık çarpma ve $N-1$ adet karmaşık toplama işlemi yapılmaktadır.

2.9.2 Hızlı Fourier Dönüşümü

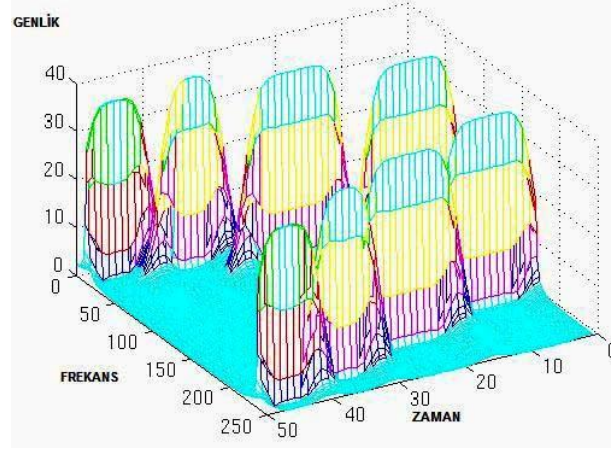
Ayrık Fourier Dönüşümünde N adet karmaşık çarpma ve $N-1$ adet karmaşık toplama işlemi yapıldığından dolayı N adet AFD değeri bulunurken, N^2 adet çarpma ve

$N(N-1)$ adet toplama işlemi gereklidir. Dizi uzunluğu olan N 'nin büyük olması durumunda AFD'nin doğrudan bulunması çok fazla miktarda işlem yapılmasını gerektirir. Yani, N sayısı artarken yapılan işlem sayısı yüksek hızla artmakta ve işlem sayısı kabul edilemez bir seviyeye doğru gitmektedir. 1965 yılında Cooley ve Tukey Ayırık Fourier Dönüşümü için gerekli işlem miktarını azaltacak bir prosedür geliştirdiler [23]. Bu prosedür, sayısal işaret işleme ve diğer alanlarda AFD uygulamalarında ani bir artış olmasına sebep oldu. Ayrıca başka algoritmaların geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Tüm bu algoritmalar Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) algoritmaları olarak bilinir. Bu algoritmalar ile AFD hesabı için yapılması gereken işlem sayısı büyük ölçüde azaltılarak işlem kolaylığı sağlanmıştır. Her ne kadar dönüşüm olarak adlandırılrsa da, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) Ayırık Fourier Dönüşümü (AFD)'den farklı değildir. AFD hesaplamasının en etkin yolu Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) algoritmasıdır. FFT yeni bir dönüşüm olarak düşünülmemelidir. Sadece AFD hesaplamasının hızlı bir yöntemidir [24].

2.9.3 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü, Fourier dönüşümünün sürekli sinyallerde zaman bilgisini kaybettiğinden dolayı bu sorunun üstesinden gelebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Böylece sürekli sinyallerde de Fourier dönüşümün uygulanması, dönüşümü yapılacak olan sinyal önce konumu $t = \tau$ da olan bir pencere fonksiyonu ile çarpılır. Daha sonra Fourier dönüşümü uygulanır.

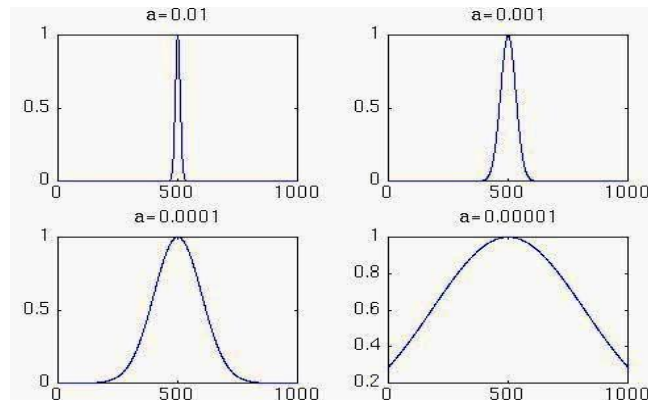
Kısa zamanlı Fourier dönüşümünde, giriş sinyali tüm zamanlarda çarpılır. Dönüşüm frekansın bir fonksiyonu olduğundan sinyal üzerindeki tüm frekanslar ayrıştırılabilir hale gelir. Bu dönüşümde bu işlem zaman ekseninde kayarak ilerleyen pencereler halinde ilerler ve bu da bize zaman aralığı bilgisi verir. Dönüşüm sırasında alınan integral tüm sinyal için değil de sadece pencere içerisini kapsamasından dolayı frekans çözünürlüğü ile zaman çözünürlüğü birbirleri ile ters orantılıdır. KZFD ile frekans-genlik bilgisine zaman bilgisi de katıldığından grafik artık üç boyutlu olarak gösterilebilir.



Şekil 2.15 Zaman-frekans ilişkisi

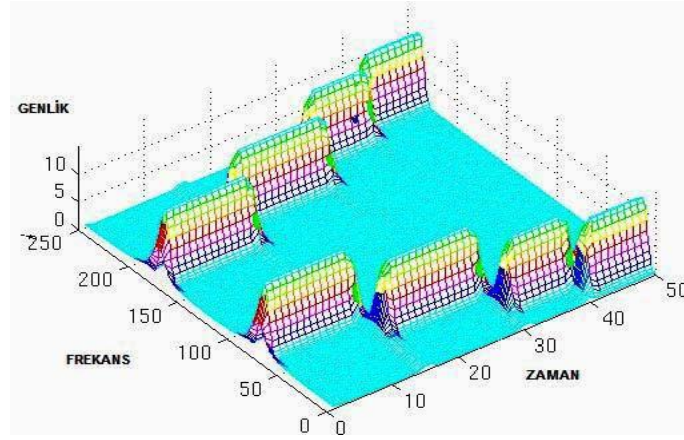
Şekil 2.15'teki sinyalde zaman frekans ilişkisinde dört ayrı frekansın dört farklı tepe şeklinde görülmesinin yanı sıra zaman bilgisi de mevcuttur. Frekansların hangi aralıkta olduklarını görülebilmelerine rağmen çözünürlükteki kısıtlamadan dolayı zaman bilgisi sadece belli bir aralığa ait olup tam olarak hangi anda hangi frekansa ait sinyalin sahip olduğu bilinmemektedir.

Çözünürlük, dönüşüm işlemi sırasında kullanılan pencerenin boyu ile ilgilidir. Pencere boyu arttığında frekans çözünürlüğü artar ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü, Fourier Dönüşümü'ne yaklaşır. İntegral kısa pencereye göre daha uzun zamana yayıldığından sinyalin tamamına ait frekans bilgisine daha yakın bir sonuç çıkar. Ancak zaman çözünürlüğü azalır çünkü zaman eksenine göre daha az parçaya bölünmüştür. Pencere boyu daraltıldığında ise frekans çözünürlüğü azalırken zaman çözünürlüğü artar. Pencere boyu değişen a değeriyle aşağıdaki gibi genişler veya daralır.



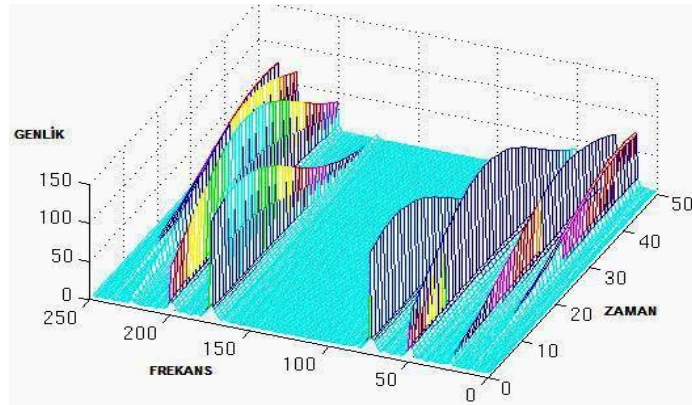
Şekil 2.16 a değerine bağlı sinyal genişliği

Şekil 2.17’de a değerinin 0.01 olduğu durum görülmektedir. Pencere küçük olduğundan zaman çözünürlüğünün iyi, frekans çözünürlüğünün ise düşük olmasını bekleniyor. Gerçekten de dört frekansa ait tepeler birbirlerinden zaman ekseninde iyi ayrılmışlardır (dalgalar arasında her frekans için fark belirgindir). Ancak frekans kısmına baktığımızda tepeler tek bir frekans yerine belirli bir frekans aralığını kapsamaktadır. Yani tam olarak o bölgede hangi frekans olduğu bilinmemektedir. Bu durum frekans çözünürlüğünün kötü olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.17 $a=0.01$ durumu için zaman-frekans karakteristiği

Şekil 2.18’de ise frekans çözünürlüğünün en yüksek seviyede olduğunu ancak artık zaman bilgisinin kaybedildiğini, yani zaman çözünürlüğünün seçilen pencere boyları için en düşük seviyesinde olduğu görülüyor.

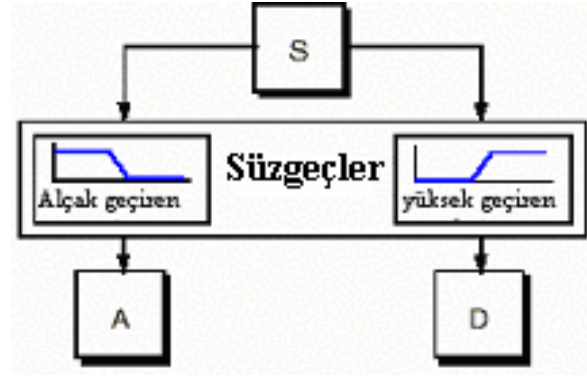


Şekil 2.18 $a=1$ için zaman-frekans karakteristiği

Yüksek frekanslarda örnek sayısı arttıkça sinyal daha kararlı ve hatalara karşı daha korunaklı olacaktır. Dolayısıyla örneklemenin bu kadar çok yapılabilmesi için zaman çözünürlüğünün iyi olması gerekmektedir. Düşük frekanslar ise yüksek frekanslar kadar çok örnekleme gerektirmediklerinden zaman çözünürlüğünden çok frekans çözünürlüğü önemlidir. Bu yüzden yüksek frekanslarda dar pencereler, düşük frekanslarda ise geniş pencereler seçilmelidir. Ancak KZFD değişken yapılı pencerelere sahip değildir. Hem yüksek hem de düşük frekanslar aynı pencere boyu ile işlenirler. Bu da yüksek frekanslarda düşük zaman çözünürlüğüne, alçak frekanslarda ise düşük frekans çözünürlüğüne sebep olur. Bu çözünürlük sorunun üstesinden gelmek için KZFD yerine dalgacık dönüşümü geliştirilmiştir [20].

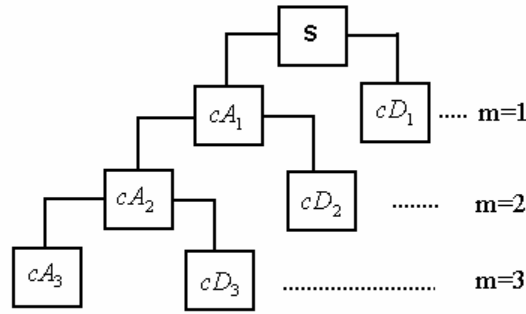
2.10 Dalgacık Dönüşümü ile Gürültü Bastırma

Sinyal işleme alanında ilk ortaya atılan Fourier dönüşümü ile zaman bölgesindeki $x(t)$ işareti tüm zaman aralığındaki kompleks çarpan ile çarpılarak elde edilen $X(w)$ dönüşümü farklı frekanslardaki sinüsoidleri içeren Fourier katsayılarını verir. Fourier dönüşümünün temelini oluşturan Sürekli Dalgacık Dönüşümünde (SDD) işaret tüm zaman aralığında dalgacık fonksiyonunun farklı ölçekli ve kaydırılmış halleri ile çarpımının toplamı olarak ifade edilir. SDD’de her bir çarpanda yeni bir katsayı elde edileceğinden, her bir katsayı orijinal işaretin farklı ölçek ve konumlardaki dalgacık bileşenlerini oluşturmaktadır. Ayırık Dalgacık Dönüşümünde (ADD) ise çoklu çözünürlük analizi ile ayırık işaret, alçak ve yüksek geçiren filtre uygulanarak elde edilen işaretler 2 ile veri azaltmaya tabi tutulur [25]. Literatürde çoklu dalgacık dönüşümün, tekli dalgacık dönüşümüne oranla daha üstün olduğu belirtilmesine rağmen bu dönüşümünün temelinin tekli dalgacık dönüşümüne bağlı olduğu belirtilmiştir [12]. Ayırık s sinyali alçak geçiren filtreden geçirilerek yaklaşık A katsayıları, yüksek geçiren filtreden geçirilerek de detay katsayıları D elde edilir. Bu yaklaşık ve detay katsayılarının toplanması ile de tekrar orijinal s sinyalini elde etmek mümkündür.



Şekil 2.19 s sinyalinin alçak geçiren ve yüksek geçiren filtre ile filtrelenmesi [26]

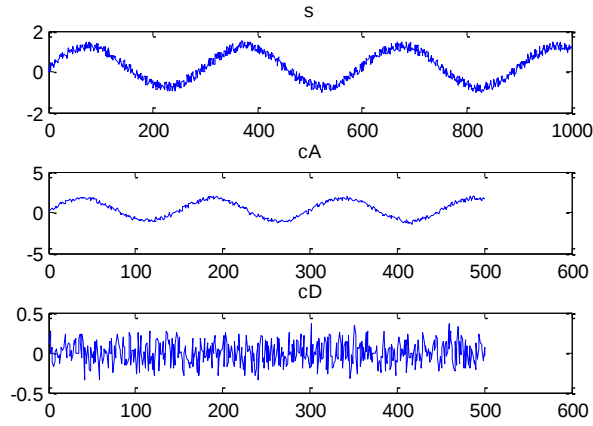
Mallat'ın dalgacık ayrıştırma ağacına göre ayrık işarete ardışıl olarak filtreler uygulandığında katsayı ayrışması Şekil 2.20'deki gibi olur.



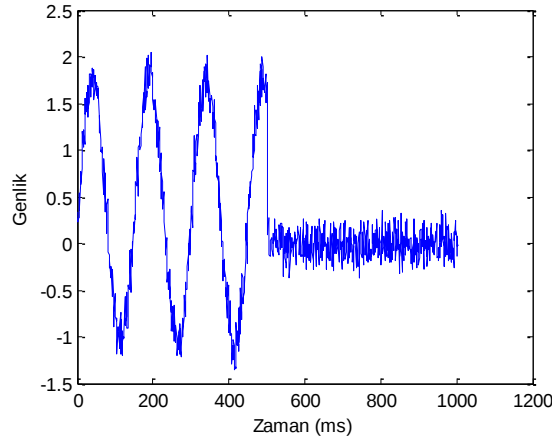
Şekil 2.20 Dalgacık ayrıştırma ağacı

S ayrık sinyalinin 1. seviyeden ayrıştırılmasıyla cA_1 ve cD_1 katsayıları elde edilir. cA_1 'in ayrıştırılmasıyla cA_2 ve cD_2 katsayıları elde edilir. Ardışıl olarak bu alçak ve yüksek geçiren filtrelerin uygulanması istenilen ayrıştırma seviyesine kadar uygulanır. Dolayısıyla 3. Seviyeden bir ayrıştırma için, s sinyali cA_3 , cD_3 , cD_2 , cD_1 katsayılarının toplamını ifade eder ($s = cA_3 + cD_3 + cD_2 + cD_1$).

Şekil 2.21'de rastgele gürültü eklenmiş bir sinüs sinyalinin db3 dalgacığı ile ayrıştırılması sonucu elde edilen yaklaşım ve detay sinyalleri gösterilmektedir. 1000 verili sinyalin alçak ve yüksek geçiren filtreden geçirilmesiyle 500'er verili cA ve cD elde edilmiştir. Aynı şekilde Şekil 2.22'de yaklaşım ve detay katsayıları birarada verilmiştir.



Şekil 2.21 db3 dalgacı ile ayrıştırılan gürültülü sinyal



Şekil 2.22 cA ve cD katsayıları

Çoğu sinyal için, sinyalin alçak frekans bileşenleri (cA) sinyalin en önemli bölümü olup, yüksek frekans bileşenleri (cD) ise sinyale dair detayları yansıtmaktadır. İnsan ses sinyalinin, yüksek frekans bileşenleri sinyalden ayrıştırılırsa, ses farklılaşır fakat söylenen anlaşılabilir durumdadır. Yalnız yeterince alçak frekans bileşenini sinyalden ayrıştırırsak, sinyal konuşmaya benzemeyen anlamsız seslere dönüşür. cD detay katsayıları küçüktür ve yüksek frekans gürültüsü içerir. cA yaklaşıklık katsayısı orijinal sinyalden çok daha az gürültü içerir.

2.10.1 Gürültü Süzme

Gerçekte bir sinyalin gürültüye maruz kalması kaçınılmaz olup sinyal kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu sebepten dolayı gürültü bastırma orijinal sinyalin mümkün olduğunca temel özelliklerinin korunması ve sinyalden gürültünün kaldırılması amaçlanmaktadır. Dalgacık teorisindeki hızlı gelişmeler ve bu teorideki iyi zaman-frekans karakteristiklerinden dolayı bir sinyaldeki gürültüyü bastırmak için dalgacık bastırma yöntemi geniş bir uygulama alanı oluşturmuştur. Son 10 yılda Mallat'ın maksimum dalgacık dönüşüm prensiplerine dayalı gürültü bastırma yöntemi, Xu ve arkadaşlarının öne sürdüğü dalgacık katsayıları arasındaki ölçek ilişkisine bağlı dalgacık dönüşümü, Donoho ve arkadaşlarının öne sürdüğü yumuşak-sert eşikleme yöntemi gibi dalgacık dönüşümüne dayalı pek çok yöntem gün ışığına çıkmıştır [27]. Kullanımındaki kolaylık ve etkili algoritmalarından dolayı literatürde en çok kullanılan gürültü bastırma yöntemi, yumuşak-sert eşikleme yöntemi olup tez çalışmasında bu yöntemle başvurulmuştur.

2.10.2 Dalgacık Eşikleme İle Gürültü Bastırma Temelleri

Gürültülü işaret için gözlenen sinyalin s , asıl sinyalin x ve en basit modelde w 'nin beyaz gürültü olduğu düşünülürse;

$s=x+w$ bağıntısına göre amaç x sinyalini elde etmektir, gürültü değişimi σ^2 ile gösterilir. w tekil dalgacık operatörü olduğu düşünülürse $ws=wx+we$ şeklinde gösterilir.

Gürültüyü süzmek için ilk olarak s sinyali N . seviyeden bir dalgacıkla dalgacık ayrışımı yapılır, 1 'den N 'e kadar olan her bir seviye için eşik değeri seçilerek ayrıştırma katsayılarına uygulanır. Son olarak da N . Seviyedeki yaklaşık katsayıları ve 1 'den N 'e kadar hesaplanan değiştirilmiş ayrıştırma katsayıları kullanılarak işaret tekrar oluşturulur.

Eşikleme yöntemi ile gürültü bastırma çok seviyeli analiz yönteminin temelini oluşturmaktadır [28]. Grossman'a göre ayrıştırma seviyesi arttıkça beyaz gürültü seviyesi azalmaktadır. Dalgacık eşikleme ile gürültü bastırma için ilk önce eşikleme yöntemine karar verilmelidir. Daha sonra da eşik seçim kuralına karar verilir. Sinyaldeki mevcut gürültü, beyaz gauss gürültüsü olması durumunda eşik değeri $thr = thselect(data, tptr)$ ile belirlenir. Burada $tptr$ eşik seçim kuralını ifade eder.

Tablo 2.1 Eşik seçim kuralı

Seçenek	Eşik Seçim Kuralı
rigrsure	Stein's Unbiased Risk Estimate (SURE)
'sqtwolog'	Sabit bir eşik değeri olup _____ ile ifade edilir.
'heursure'	İlk iki eşik seçim kuralının ortak kullanımını ifade eder.
'minimaxi'	Minimax prensipleri kullanılır.

‘Rigrsure’ eşik seçim kuralı, Stein's Unbiased Estimate of Risk’e bağlı yumuşak eşikleme oranlayıcısıdır. ‘sqtwolog’ eşik seçim kuralı sabit bir eşik değeri olup _____ ile ifade edilir. ‘heursure’ eşik seçim kuralı ise ‘Rigrsure’ ve ‘sqtwolog’ eşik seçim kurallarının ortak kullanımını ifade eder. SNR oranının çok küçük olduğu durumlarda ilk yöntem çok gürültülü sonuçlar vereceğinden, ‘sqtwolog’ eşik seçim kuralı kullanılır. ‘Minimaxi’ eşik seçim kuralı ise minimax prensiplerini kullanır. Beyaz gürültü dışında sinyale karışan diğer gürültüleri bastırmak için MATLAB ‘wden’ komutunu kullanır. Bu komutla gürültüsü bastırılmış orijinal sinyal elde edilir.

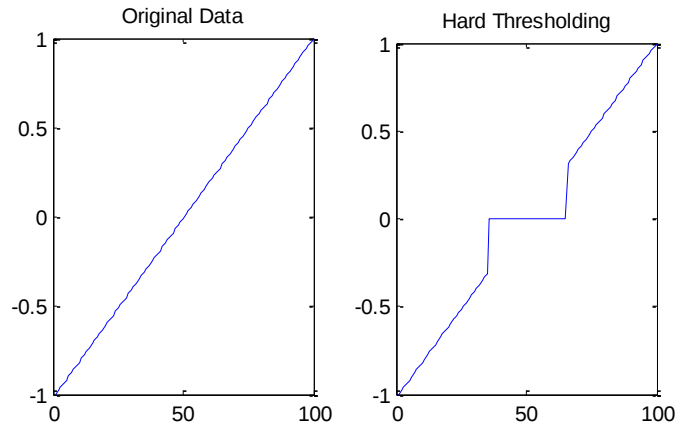
$Sd=wden(s, tp\tau r, sorh, scal, n, wav)$ şeklinde kullanılan bu komut satırında s gürültülü sinyali, $tp\tau r$ eşik seçim kuralını, $sorh$ s sinyalinin wav dalgacığı ile n . seviyeden ayrıştırılmasında detay katsayılarının eşiklenme yöntemini, $scal$ ise eşik değerinin yeniden ölçeklenme metodunu ifade eder. Yapılan tez çalışmasında yapılan arabirimde bahsi geçen tüm kurallar uygulanmıştır.

2.10.2.1. Sert Eşikleme (Hard Thresholding)

Sert eşikleme, belirlenen eşik değerinden düşük değerdeki katsayılar sıfırlanırken, büyük değerler aynen kalır. _____ eşik değeri olmak üzere sert eşikleme;

(2.9)

ile ifade edilir.



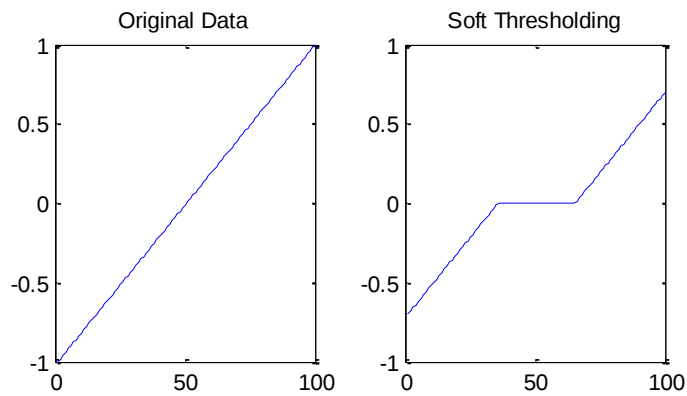
Şekil 2.23 Sert (hard) eşikleme

2.10.2.2 Yumuşak Eşikleme (Soft Thresholding)

Yumuşak eşikleme, sert eşiklemenin bir uzantısı olup belirlenen eşik değerinden düşük değerdeki katsayılar sıfırlanırken, büyük değerler sıfıra yaklaştırılır. eşik değeri olmak üzere sert eşikleme;

(2.10)

ile ifade edilir.



Şekil 2.24 Yumuşak (soft) eşikleme

Literatürde yumuşak eşiklemenin, sert eşiklemeye göre daha etkili bir eşikleme yöntemi olduğu belirtilmesine rağmen özellikle görüntü işlemede detay özelliklerin korunmasında yumuşak eşiklemenin zayıf, sert eşiklemenin daha etkili olduğu gürültü bastırmada ise yumuşak eşiklemenin sert eşiklemeye göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. Bundan dolayı, iki yöntem arasında uyum sağlanması amacıyla Qian eşikleme yöntemi öne sürülmüştür. Bu yöntemle hem gürültü azaltılması sağlanmış hem de detay özelliklerin korunması sağlanmıştır [29].

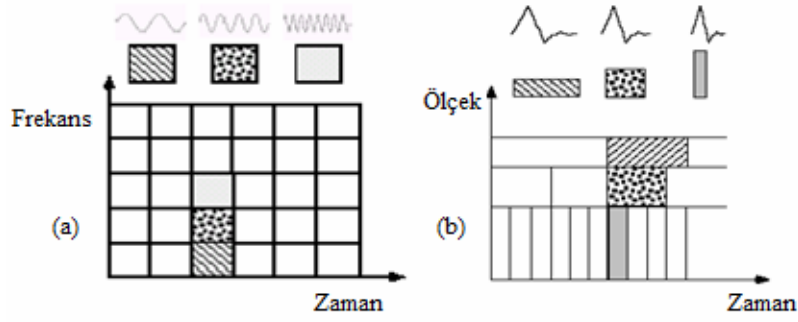
Eşikleme yöntemine bağlı olarak radar sistemlerinde yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek [30] ve biyolojik ve çevresel kaynaklı gürültülerin sEMG sinyallerinden kaldırılması amacıyla bu yöntem kullanılmıştır [31].

2.11 Fourier Dönüşümü ile Dalgacık Dönüşümünün Kıyaslanması

Hızlı Fourier Dönüşümü ve ayrık dalgacık dönüşümünün ikisi de çeşitli uzunluklarda $\log_2 n$ segmentleri içeren veri yapısı oluşturan doğrusal işlemlerdir. Dönüşümlerde matrislerin matematiksel özellikleri aynıdır. Her iki dönüşümün farklı bir bölgeye rotasyonu gözlenebilir. FFT için bu yeni bölge sinüs ve kosinüslü temel fonksiyonları içerir. Dalgacık dönüşümü için bu yeni bölge dalgacık, temel dalgacık ve analiz dalgacık isimli daha komplike temel fonksiyonları içerir. Bu dönüşümlerin temel fonksiyonları frekanslarda sınırlıdır. Ayrılan frekanslarda belirtilen frekans aralığının gücünün ne kadar olduğunu güç spektrumu gibi araçlarla hesaplanır.

İki dönüşüm arasındaki en önemli fark dalgacık fonksiyonlarının uzayda sınırlı olup, Fourier fonksiyonlarının sınırlı olmamasıdır. Bu sınırlama özelliği çoğu fonksiyonun ve işlemcinin aralıklı dalgacık kullanmasına neden olur. Böylelikle bu aralıklar veri sıkıştırma, görüntülerde özellik saptama ve gürültü bastırma gibi birçok önemli uygulamalarla sonuçlanır. Fourier Dönüşümü, sinyallerin değişik frekanslardaki sinüs dalgalarına ayırır. Yani diğer bir deyişle zaman bölgesindeki sinyalin frekans bölgesindeki karşılığı elde edilir. Bu dönüşüm ile sinyalin zaman bilgisi kaybolur. Yani sinyal içerisindeki farklı frekansların hangi zaman dilimlerine ait olduğu bilinemez. Bu da zaman içerisinde değişim gösteren sinyaller için problem olur. Bunu engellemek için pencereleme (windowed) işlemi ile sinyal küçük pencerelere ayrılır ve çerçeve içindeki kısa süreli sinyaller durağan kabul edilerek her çerçeve için Fourier dönüşümü hesaplanır. Bu işlem Kısa Süreli Fourier Dönüşümü olarak (KZFD) isimlendirilir. KZFD ile sinyalin zaman

dilimine göre hangi frekansa ait olduğu hakkında bilgi verir. Sinyal spektrumunda yer alan düşük ve yüksek tüm frekans bileşenleri aynı zaman penceresinde incelenebileceğinden daha hassas olan dalgacık dönüşümü tekniği kullanılır. Bu teknik de sinyali küçük parçalara ayırır fakat Fourier ile bu işleme için sonsuz uzunlukta olduğu varsayılan ve değişik frekanslardaki düzenli sinüs dalgaları kullanılırken dalgacık dönüşümü ile sınırlı süreli, düzensiz, asimetrik sinyallerin ölçeklenmiş ve kaydırılmış halleri kullanılır. Dalgacık dönüşümü ile sinyal yüksek ve alçak frekans bileşenlerini içeren alt bantlarına ayrılır. Ayrılan bu bantlara istenen çözünürlüğe ulaşana kadar tekrar dönüşüm uygulanarak sinyal alt bantlarına ayrılır [2].



Şekil 2.25 KZFD ile dalgacık dönüşümünün karşılaştırılması

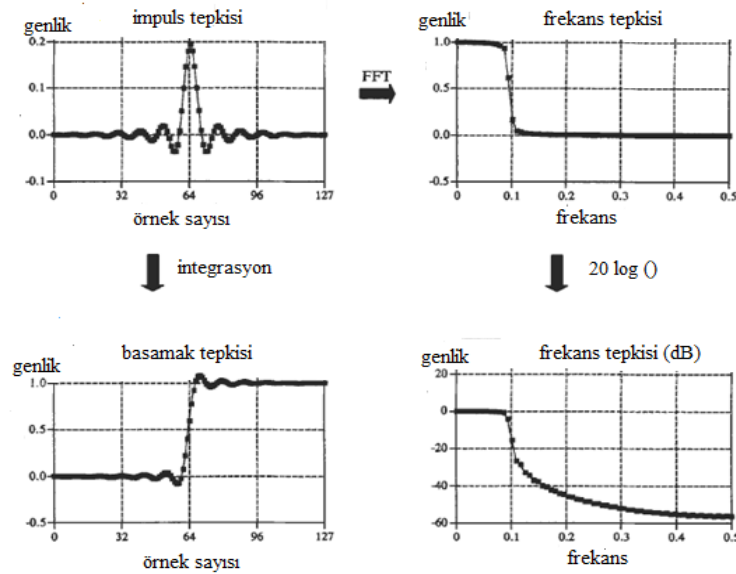
Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ile dalgacık dönüşümünün frekans ve zaman çözünürlüğü açısından karşılaştırması Şekil 2.25'te verilmiştir. Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü'nde frekansın sabit olduğu farklı frekanslardaki sinyaller için aynı çözünürlüğü kullandığı görülürken, dalgacık dönüşümünde değişen dalgacıkların (pencerelerin) farklı zaman ve frekans çözünürlükleri oluşturduğu görülmektedir. Bu iki grafikte dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta dörtgenlerin kapladıkları alanların değişmediğidir. Bunun sebebi zaman ve frekansın sonsuz çözünürlükte olamadığıdır. Bir başka deyişle birbirlerine ters orantılı olan iki değişkenden biri değişirken öteki sabit tutulamaz. Yani frekansla zaman çözünürlüğü aynı anda arttırılamaz veya azaltılamaz.

3. FİLTRELEME TABANLI YÖNTEMLER

Sayısal filtreler, sayısal işaret işleminin çok önemli bir bölümüdür. Genellikle bileşik bir sinyalin ayrıştırılması (signal separation) ve bir şekilde distorsiyona uğramış bir sinyali orijinal haline getirmek (signal restoration) üzere iki amaç için kullanılır. Sinyal ayrıştırılmasına, bir sinyal girişim, gürültü ve diğer sinyallerin etkisine maruz kaldığında ihtiyaç duyulur. Örneğin anne karnındaki bebeğin kalbini elektriksel aktivitesini görüntülerken işlenmemiş sinyalde annenin nefes alıp vermesi ve kalp atışları da mevcuttur. Bu sinyallerin bağımsız olarak analiz edilebilmesi için filtre kullanılarak sinyaller birbirlerinden ayrılır.

Orijinal sinyalin yeniden elde edilmesi, bir sinyal distorsiyona maruz kaldığında kullanılır. Örneğin yetersiz bir ekipmanla yapılan ses kaydından daha iyi bir ses almak için filtreleme kullanılır. Bu tip problemler ya analog ya da sayısal filtrelerde meydana gelir. Analog filtreler ucuz, hızlı, genlik ve frekansta büyük dinamik değerlere sahiptir. Sayısal filtreler ise performans seviyesinde oldukça üstündür.

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi her filtre impuls tepkisine, birim basamak tepkisine ve frekans tepkisine sahiptir. Bu tepkilerin her biri farklı formlarda filtre hakkında bilgi verir.



Şekil 3.1 Filtrelerin impuls, birim basamak, frekans tepkileri

Birim basamak tepkisi, impuls tepkisinin ayırık integrasyonu, frekans tepkisi FFT hızlı Fourier Dönüşümü ile impuls fonksiyonundan bulunur, doğrusal veya desibel cinsinden gözlenebilir.

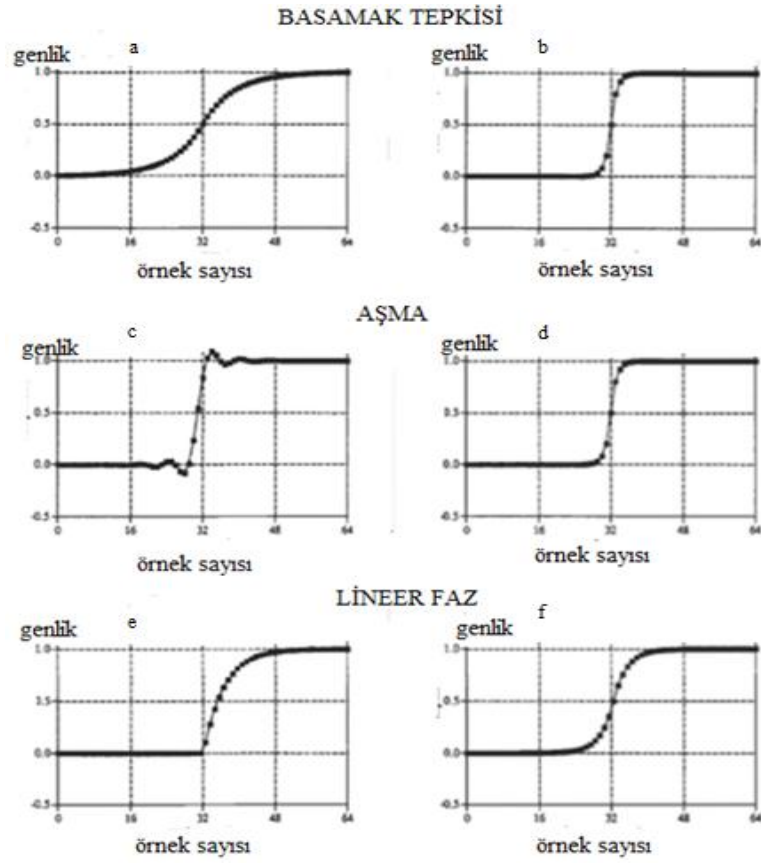
3.1 Zaman Bölgesi ve Frekans Bölgesi Parametreleri

3.1.1 Zaman Bölgesi Parametreleri

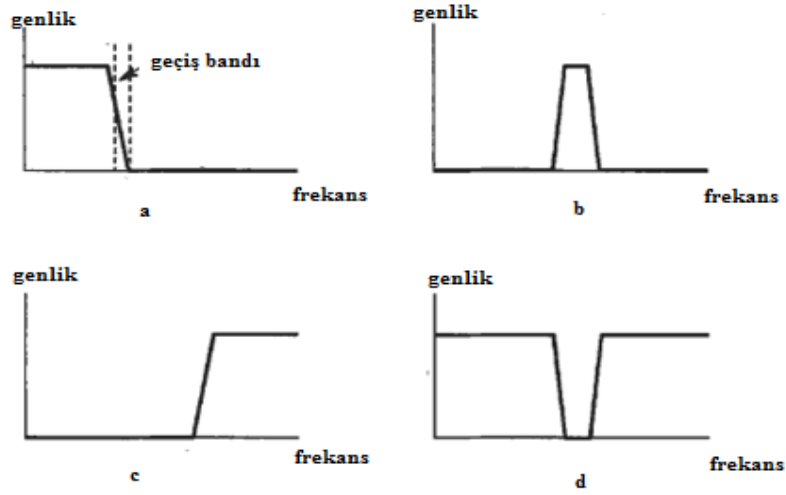
Filtre tasarımında basamak tepkisi parametreleri önemlidir. Bir sinyaldeki olayları ayırmak için, basamak tepki süresi olayların aralıklarında kısa olmalıdır. Bu da basamak tepkisinin olabildiğinde hızlı olmasını sağlar. Bu durum Şekil 3.2’de a ve b’de gösterilmiştir. Yükselme zamanını (risetime) spesifikleştirmenin en bilindik yolu örnek sayısının yinelenmesidir. Şekil 3.2’de c ve d diğer bir önemli parametre olan aşma ile ilgilidir (overshoot). Aşma sinyaldeki örneklerin genliğini değiştirdiğinden dolayı genellikle elimine edilmelidir. Son olarak, basamak tepkisinin üst yarısı ile alt yarısı diğer bir deyişle düşen kenar (*falling edges*) ile yükselen kenar (*rising edges*) simetriktr. Bu simetri doğrusal faz olarak isimlendirilir (*linear phase*). Şekil 3.2’de e ve f incelendiğinde f' ’nin doğrusal faz özelliğini sağladığı görülüyor.

3.1.2 Frekans Parametreleri

Şekil 3.3’te dört temel frekans tepkisi gösterilmiştir. Bu filtrelerin amacı bazı frekansların değişmeden geçmesine bazılarının ise bloklanmasını sağlamaktır. Geçirme bandı (passband), istenen frekansların geçmesine, durdurma bandı (stopband) istenmeyen frekansların bloklanmasına işaret eder. Geçiş bandı (transition band) ise bu iki bant arasındadır. Bu eğrinin hızlı bir şekilde azalması (fast roll-off) geçiş bandının dar olması anlamına gelmektedir. Geçirme bandı ve geçiş bandı arasındaki frekans kesim frekansı (cutoff frequency) olarak isimlendirilir. Analog filtre tasarımında kesim frekansı genellikle genliğin 0.707 veya -3dB seviyesine düştüğü değer olarak tanımlanır. Sayısal filtrelerde ise tanımlanan kesim frekansında 99%, 90%, 70.7% ve 50% genlik seviyeleri görülebilir yani sayısal filtreler daha az standarttır.



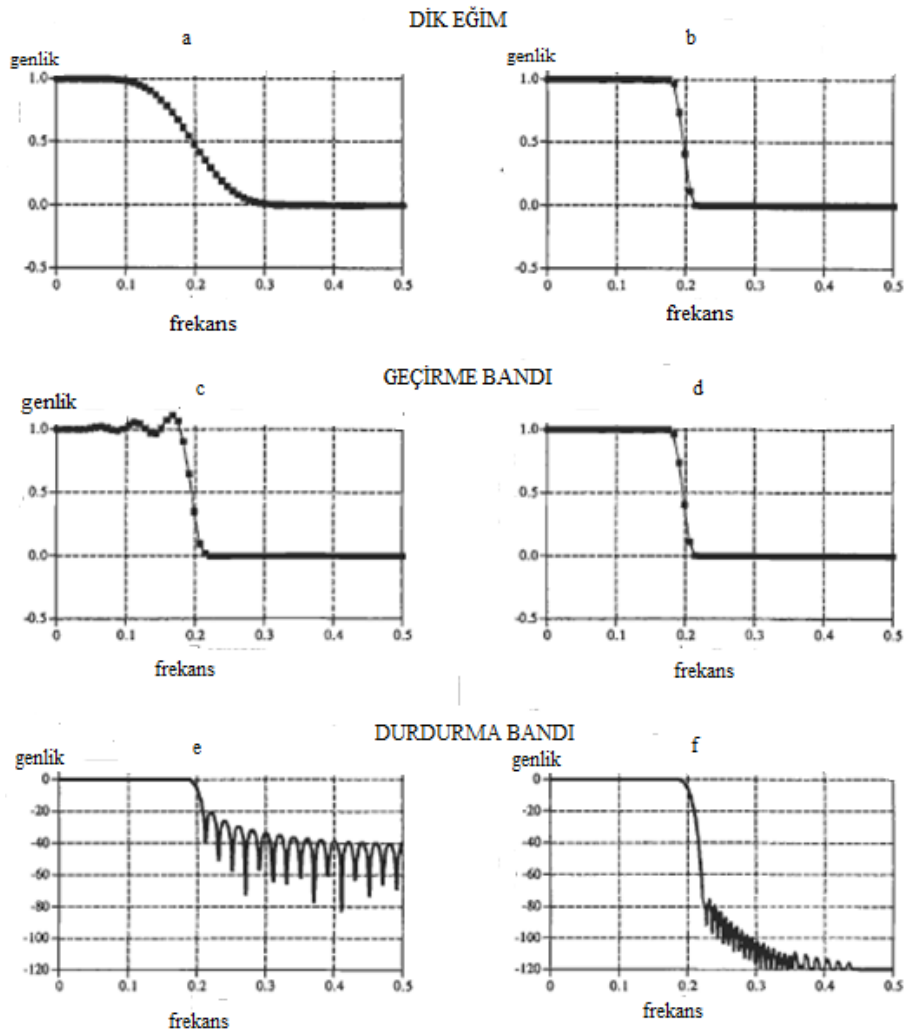
Şekil 3.2 Zaman parametreleri



Şekil 3.3 Frekans Tepkileri a) alçak geçiren filtre b) bant geçiren filtre c) yüksek geçiren filtre d) bant durduran filtre

Şekil 3.4'te alçak geçiren bir filtrenin frekans bölgesinde, iyi bir performans göstermesi için üç parametre gösterilmiştir. Birbirine yakın frekansları ayırmak için filtre

hızlı bir azalmaya sahip olmalıdır, yani geçiş bandı olabildiğince dik olmalıdır. (a) ve (b) incelendiğinde (b)'nin (a)'ya göre dik bir eğime sahip olduğu görülüyor. Alçak geçiren filtrenin geçirme bandı frekanslarında dalgalanma olmamalıdır. (c) ve (d) 'de, (d)' nin geçirme bandında dalgalanma olmadığı görülüyor. Son olarak durdurma bandındaki frekansları yeterli bir şekilde bloklamak için filtre, iyi bir zayıflamaya (*stopband attenuation*) sahip olmalıdır. Yine aynı şekilde (f)'deki zayıflamanın (e)'den fazla olduğu görülüyor [13] .



Şekil 3.4 Alçak geçiren bir filtrenin frekans bölgesinde iyi bir performans göstermesini sağlayan parametreler

3.2 FIR ve IIR Filtreler

Girişine $X(nT)$ verilen sayısal filtrenin yanıtı sadece girişe ait bilgilerden oluşuyorsa bu tip filtreler tekrarsız FIR filtreler olarak isimlendirilir. Doğrusal zamanla değişmeyen bir FIR filtrenin yanıtı;

$$y(nT) = \sum_{i=0}^{N-1} x(nT-iT) \quad (3.1)$$

Burada $\sum_{i=0}^{N-1}$ sabit bir değer olup böyle bir filtre fiziksel olarak gerçekleştirilemez. Fiziksel olarak gerçekleştirilmesi için impuls N . Dereceden, doğrusal, tekrarsız ve zamanla değişmeyen filtrenin cevabı;

$$y(nT) = \sum_{i=0}^{N-1} x(nT-iT) \quad (3.2)$$

Filtre yanıtı giriş işareti yanı sıra geciktirilmiş çıkış bilgilerinden de oluşuyorsa bu tip filtreler tekrarlı IIR filtreler olarak isimlendirilir. Doğrusal, zamanla değişmeyen, N . dereceden bir IIR filtrenin yanıtı;

$$y(nT) = \sum_{i=0}^{N-1} x(nT-iT) - \sum_{i=0}^{N-1} y(nT-iT) \quad (3.3)$$

şeklindedir.

FIR filtreler her zaman kararlı, doğrusal ve nedensel olup önceden belirlenmiş genlik-frekans karakteristiklerini sağlayacak şekilde tasarlanabilirler. FIR filtreler tekrarlı ve tekrarsız olarak gerçekleştirilebilmesiyle beraber ancak tekrarsız olarak tasarlanan FIR filtreler kararlı ve doğrusal faz cevabına sahiptir. Tekrarsız olarak tasarlanan IIR filtreler kararlı olmayabilir. FIR filtrelerin analog karşılıkları bulunmamaktadır.

3.3 Sayısal Filtrelerin Tasarımı

Sayısal filtre tasarımında amaç, verilen bir frekans yanıtını yaklaşık olarak sağlayan gerçekleştirilebilir bir transfer fonksiyonu $G(z)$ elde etmektir. Analog filtreler diferansiyel denklemlerle ifade edilirken, sayısal filtreler fark denklemleri ile ifade edilirler. Başlıca tasarım amaçları arasında, karışmış sinyalleri birbirinden ayırmak, sinyaldeki gürültüyü azaltarak sinyal kalitesini arttırmak ve bozulmuş sinyalin tekrar elde edilmesi olarak sayılabilir.

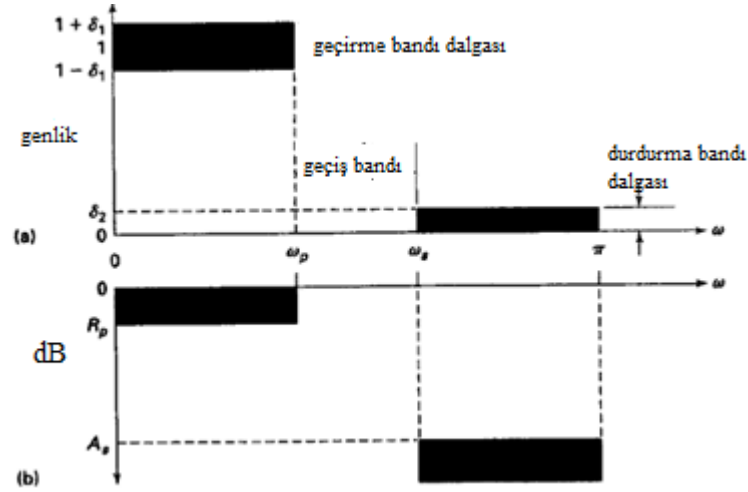
Sayısal filtreler, filtrenin girişine karşı verdiği cevaba göre tekrarsız (sonlu impuls tepkisi FIR) veya tekrarlı (sonsuz impuls tepkisi IIR) olmak üzere iki şekilde uygulanır. FIR filtreler, IIR filtrelere göre daha iyi performans sergiledikleri halde daha yavaştır.

Frekans seçici filtreler tasarlanırken filtrelerin özellikleri istenilen genlik ve faz tepkisine bağlı olarak belirlenir. FIR veya en uygun IIR filtrenin elde edilmesi için tepki katsayıları belirlenir. FIR veya IIR filtrenin tasarlanması da istenilen frekans tepkisine bağlıdır.

Pratikte FIR filtreler, filtrenin geçirme bandında doğrusal faz özelliği gerektiren problemlerde kullanılırken, doğrusal faz özelliği gerektirmeyen problemlerde hem FIR hem de IIR filtreler kullanılabilir. IIR filtre durdurma bandında daha az yan loblara sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı bazı faz bozunumları önemsiz ise IIR filtrelerin kullanılması tercih edilir. Çünkü IIR filtreler, daha az parametre içerdiklerinde dolayı daha az bellek gerektirir ve hesaplama karmaşıklığı daha azdır [32].

3.3.1 FIR Filtrelerin Tasarımı

Sayısal sinyal işlemede iki önemli sistem mevcuttur. Birinci tip sistem, zaman bölgesinde sinyal filtreleme olup sayısal filtreler olarak isimlendirilir. İkinci tip sistem ise frekans bölgesinde sinyal gösterimi olup spektrum analizörü olarak isimlendirilir. Bir sayısal filtrenin tasarımı tanımlamalar, yaklaşımlar ve uygulama olmak üzere üç adımda gerçekleşir. Bir filtre tasarlanmadan önce yapılacak uygulamaya göre filtre özellikleri belirlenir. Filtre özelliklerine göre çeşitli kavramlar ve matematiksel yaklaşımlar kullanılır. Bu adımlardan sonra filtre tanımı ya bir fark denklemi ya sistem fonksiyonu $H(z)$ ya da impuls tepkisi $h(n)$. Şekil 3.5’ te bir filtreye ait parametreler gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Alçak geçiren filtre parametreleri

1- $[0, \omega_p]$ bandı geçirme bandı olarak isimlendirilir ve δ_1 ideal geçirme bandı tepkisi için kabul edilebilir tolerans değeridir.

2- $[\omega_s, \pi]$ bandı durdurma bandı olarak isimlendirilir ve δ_2 tolerans değeridir.

3- $[\omega_p, \omega_s]$ bandı geçiş bandıdır ve bu bantta genlik tepkisi üzerine sınırlama yoktur.

4- R_p desibel cinsinden geçirme bandı zayıflamasıdır.

5- A_s desibel cinsinden durdurma bandındaki zayıflamasıdır.

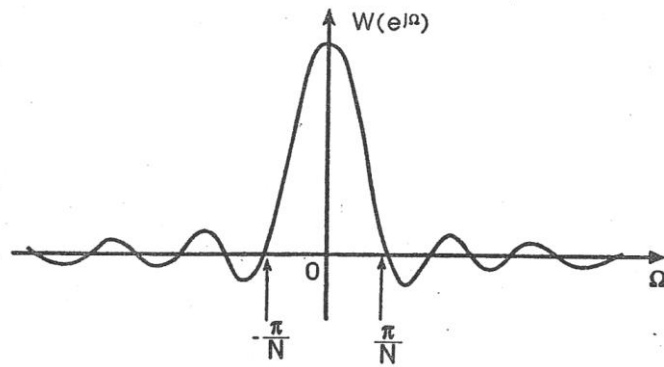
FIR filtre tasarımında, Fourier serisi yöntemi ile frekans örnekleme yöntemi kullanılır [33]. Fourier serisi yöntemi ile sınırlı sayıda değer alındığından dolayı Fourier serisinin aniden kesilmesiyle meydana gelen Gibbs salınımlarını ortadan kaldırmak için pencere fonksiyonları kullanılır [34].

3.3.1.1 FIR Filtrelerin Pencereleme Yöntemiyle Tasarlanması

Pencere fonksiyonları, sinyal analizi, sayısal filtre tasarımı ve ses işleme gibi sayısal işaret işlemede genişçe kullanılan zaman bölgesi fonksiyonlarıdır [35]. Literatürde birçok pencere fonksiyonu sunulmuştur [35-37]. Bahsedilen tüm pencerelerde en iyi pencere uygulamaya bağlı olarak değişmektedir [38]. Pencereleme yöntemi ile Gibbs osilasyonlarının azalması daha geniş geçiş bandı oluşturulması ile mümkün olmaktadır.

Yan loblardaki azalma hızı çoğu uygulama için önemli bir parametredir [39]. Filtre tasarım uygulamalarında durdurma bandı enerjisi için en uçtaki zayıflamayı azaltır [40]. Ses işlemede ise bir banttı diğer bantda enerji sızıntısını azaltır [41].

Şekil 3.6' da tüm pencerelerde esas lobun genişliği sınırlıdır. Pencere fonksiyonlarının yan lobları, tasarlanan süzgeçlerin genlik spektrumu üzerinde bir miktar Gibbs osilasyonuna neden olacaktır. Bu sebeple geçirme bandı içerisinde küçük dalgalanma ve durdurma bandında büyük zayıflama için yan loblar altında kalan alan, esas lobdakine oranla küçük olmalıdır.



Şekil 3.6 Pencere fonksiyonu spektrumu

Pencere fonksiyonlarının uzunluğu esas lobun genişliğini belirler. Sabit parametrelili pencerelerde tek bir parametreye sahip olup pencere esas lobunun genişliğini kontrol ederken, ayarlanabilir değişken parametrelili pencerelerde pencere genişliği ve diğer pencere karakteristiklerini kontrol eden parametreler mevcuttur [36]. Tez çalışmasında sabit pencereler kullanarak düşük frekanslı vlf sinyallerinin iyonosferde maruz kaldıkları gürültüler giderilmeye çalışılmıştır.

Pencere Fonksiyonu ile tasarım yapılırken;

- 1-Pencere uzunluğu arttıkça esas frekans lobu daralır. Böylece tasarlanacak süzgeç için geçirme ve durdurma bantları arasındaki geçiş bandı kısılır.
- 2-Pencere yan lob tepe genliğini genel olarak pencerenin tipi belirler ve bu genlik pencere uzunluğundan bağımsızdır.
- 3-Pencere biçimi yan lob tepe genliğini azaltacak şekilde değiştirildiğinde esas lob genişliği artacaktır.
- 4-Filtre derecesi ile de geçiş bandının genişliği ayarlanabilir.

FIR filtre tasarımı zaman bölgesinde sinc fonksiyonunun kırılmasına dayandığı için bu kırılma işlemi sonucunda frekans bölgesindeki filtre karakteristiğinde ufak bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmaları düzeltmek amacıyla kırılmış sinc fonksiyonundan elde edilen FIR katsayıları;

1-Rectangular (Dikdörtgen)

2-Hamming

3-Hanning

4-Blackman pencerelerinden biri kullanılarak frekans bölgesindeki düzensizlikler giderilir.

Tablo 3.1’de çeşitli pencere fonksiyonları için N uzunluklu FIR süzgeç tasarımında kullanılabilecek her bir pencere fonksiyonları için yan lob tepe genlikleri ve bu pencere kullanılarak tasarlanan süzgeç için yaklaşık geçiş bandı uzunlukları ve minimum durdurma bandı zayıflatması verilmektedir [42,43].

Tablo 3.1 FIR filtre tasarımında kullanılan pencere fonksiyonları

Pencere	Yan Lob Genişliği	Geçiş Bandı	Durdurma band. min zayıflama
Dikdörtgen	-13 dB	$1.8\pi/N$	-21dB
Hamming	-41 dB	$6.6\pi/N$	-53dB
Hanning	-31 dB	$6.2\pi/N$	-44dB
Blackman	-57dB	$11\pi/N$	-74dB

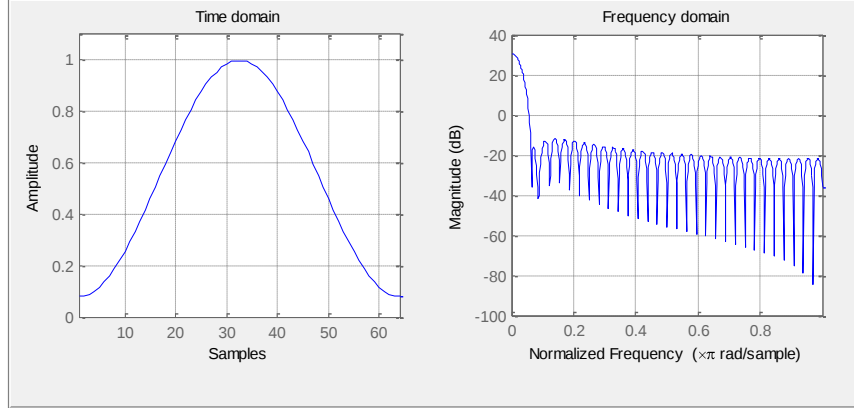
3.3.1.1.1 Hamming Penceresi

Konuşmanın spektral analizinde yaygın olarak Hamming pencere kullanılır. Bu pencere yöntemiyle bir sinyalin merkezinin daha belirgin hale getirilmesi sağlanır [44]. Hamming penceresi kullanılarak ses tanıma sistemleri geliştirilerek insan ile bilgisayar arasında sesli iletişim iyileştirilmesi çalışmaları yapılmıştır [45,46].

$$w[n] = \cos^4\left(\frac{\pi n}{N}\right) ; 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.4)$$

Burada n:örnek, N : pencere uzunluğunu, $w[n]$ hamming penceresini ifade eder.

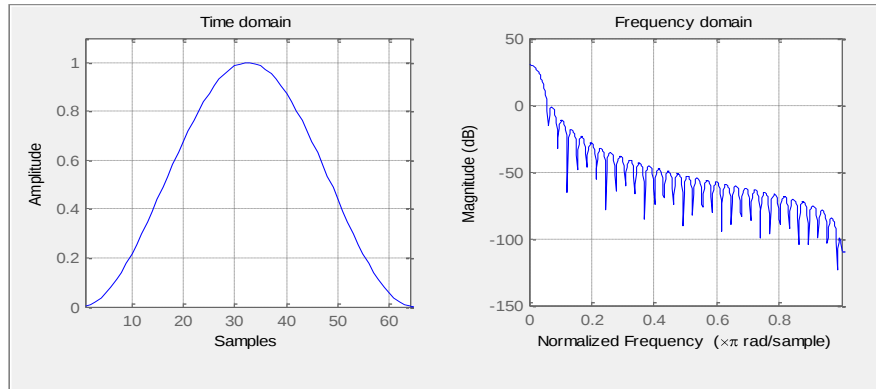
Şekil 3.7’de $N=64$ uzunluğunda Hamming penceresinin genlik–frekans tepkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.7 $N=64$ için hamming pencere

3.3.1.1.2 Hanning Penceresi

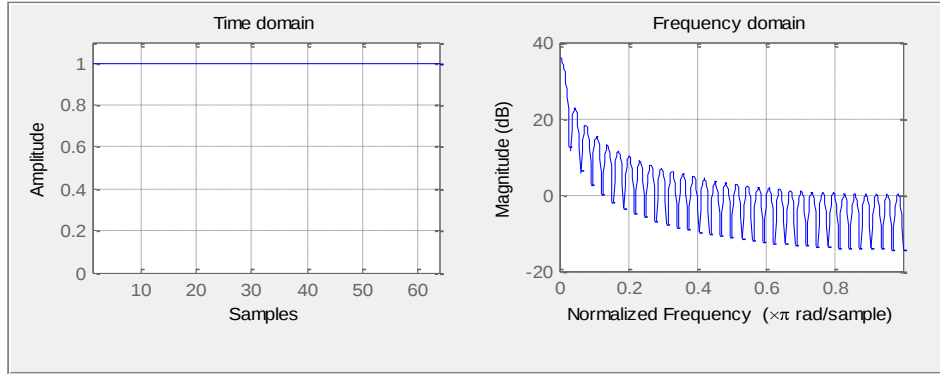
Şekil 3.8’de $N=64$ uzunluğunda Hanning penceresinin genlik-frekans tepkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.8 $N=64$ için hanning pencere

3.3.1.1.3 Rectangular (Dikdörtgen) Pencere

Şekil 3.9’da $N=64$ uzunluğunda Rectangular penceresini genlik-frekans tepkisi gösterilmiştir.



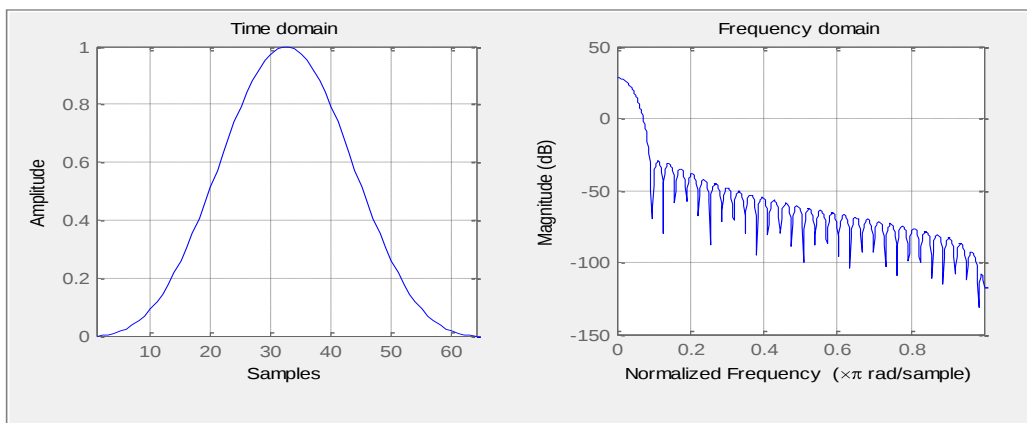
Şekil 3.9 N=64 için dikdörtgen pencere

3.3.1.1.4 Blackman Pencere

Blackman penceresi, Hanning ve Hamming pencresine göre oldukça küçük olup, ripple dalgacıklarının azalmasını sağlayan ikinci bir cos terimine sahiptir.

$$\text{Blackman}(x,) = \frac{1}{16} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{N}\right) + \frac{9}{8} \cos\left(\frac{4\pi x}{N}\right) - \frac{3}{16} \cos\left(\frac{6\pi x}{N}\right) \right) \quad (3.5)$$

Şekil 3.10’da N=64 uzunluğunda Blackman penceresi genlik-frekans tepkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.10 N=64 için blackman pencere

3.3.1.2 Frekans Örnekleme Yöntemi

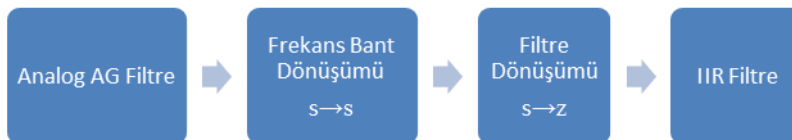
FIR filtre tasarımıda kullanılan diğer bir metot frekans örnekleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda istenen frekans tepkisi, $(0, 2\pi)$ aralığında N sayıda eşit aralıklarda örneklenir. Ayırık Fourier dönüşümünün bir uygulaması olan bu teknik, frekans bölgesindeki örnekleme ile ilgilidir. Bu metot süzgecin frekans cevabının eşit aralıklı N örneğinin seçimi ve bu frekans örneklerinin ters Fourier dönüşümlerinin bulunmasına dayanır. Seçilen frekans örnekleri arasında frekans cevabını tahmin etmek mümkün değildir. Frekans bölgesinde örnekleme, zaman bölgesinde örtüşmeye neden olmaktadır. Sonlu impuls cevabı, sonsuz uzunluktaki ideal cevabının örtüşmesiyle oluşmaktadır.

3.3.2 IIR Filtrelerin Tasarımı

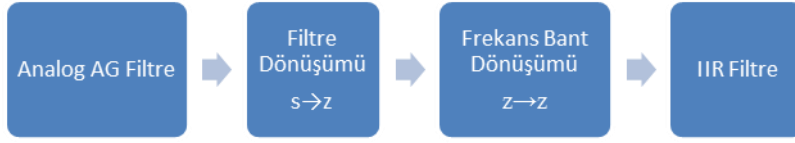
IIR sayısal filtreler, sabit katsayılı fark denkleminde oluşmuş transfer fonksiyonu ile karakterize edilirler. Fark denklemi ifadesinden n . çıkış örneği, önceki birkaç çıkış örneğine ihtiyaç duyar diğer bir deyişle IIR filtrelerin gerçekleştirilmesi bazı geri besleme biçimlerini gerektirir [47].

IIR filtreler, sonsuz impuls tepkilerine sahip olduklarından dolayı bu filtreler analog filtrelerle eşleşebilirler. Bu sayede IIR filtre tasarımıda temel teknik, kompleks değerli haritalama kullanılarak analog filtrelerin sayısal filtrelere dönüştürülmesidir. Bu temel teknik A/D filtre dönüşümü (AFD) olarak isimlendirilir. AFD, sadece alçak geçiren filtreler için mevcut olup diğer frekans seçici filtreler tasarlamak için frekans bandı dönüşümünü alçak geçiren filtrelere uygulamaya ihtiyaç duyulur. IIR filtrelerin tasarımıda iki yaklaşım kullanılmaktadır:

1. Yaklaşım



2.Yaklaşım



Matlab'ta IIR filtre tasarlamak için 1. yöntem kullanılabilir ancak daha çok 2. yöntem kullanılmaktadır. Böylece;

1-Analog AG filtre tasarlanır.

2-Sayısal AG filtre elde etmek için frekans bant dönüşümü yapılır.

3-Sayısal alçak geçiren filtreden, diğer sayısal filtreleri elde etmek için filtre dönüşümü uygulanır.

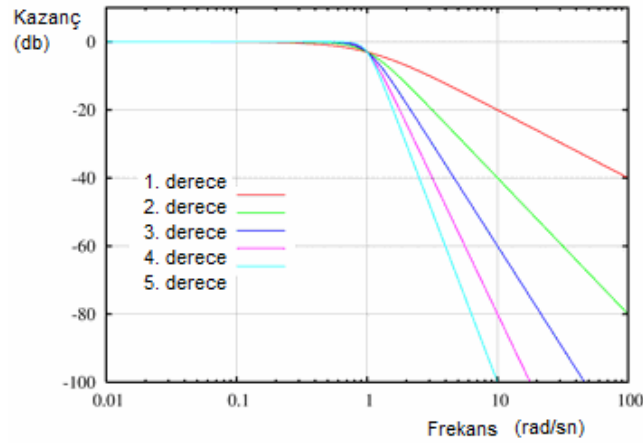
Bu yaklaşımların temel problemi IIR filtrelerin faz karakteristiklerinde kontrol olmamasıdır. Bu yüzden IIR filtre tasarımı sadece büyüklük tasarımlarında kullanılır.

3.3.2.1 IIR Filtre Çeşitleri

IIR filtre tasarımı teknikleri, mevcut analog filtrelerden sayısal filtre elde etmeye dayanır. Bu analog filtreler prototip filtreler olarak tanımlanır. Pratikte Butterworth alçak geçiren ve Chebyshev alçak geçiren prototipleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.2.1.1 Butterworth Alçak Geçiren Filtre

Butterworth filtrenin karakteristik özelliği genlik tepkisinin hem geçirme bandında hem de durdurma bandında dalgalanma olmamasıdır. Fonksiyon tekdüze olarak azalır. Butterworth filtre, Chebyshev filtreye göre daha geniş geçiş bölgesine sahip olduğundan, yeterli eğimi sağlaması için filtre dereceleri çok yüksek olup, kötü bir faz yanıtına sahiptir. Butterworth filtre, diğer süzgeçlerden farklı olarak, derecesi arttığında durdurma bandındaki sert düşüş dışında frekans genlik eğrisinde şeklini korur. Chebyshev filtrelere göre daha doğrusal bir frekans tepkisine sahiptir.

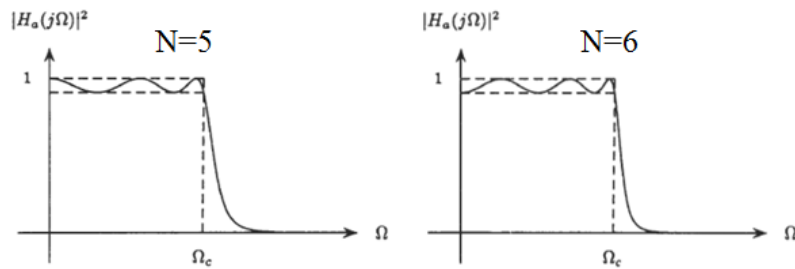


Şekil 3.11 Dereceye bağlı kazanç - frekans

Butterworth filtrenin değişik süzgeç dereceleri için kazanç-frekans gösterimi şekil 3.11 'de görülmektedir. Derece arttıkça geçiş bandı kısılmaktadır.

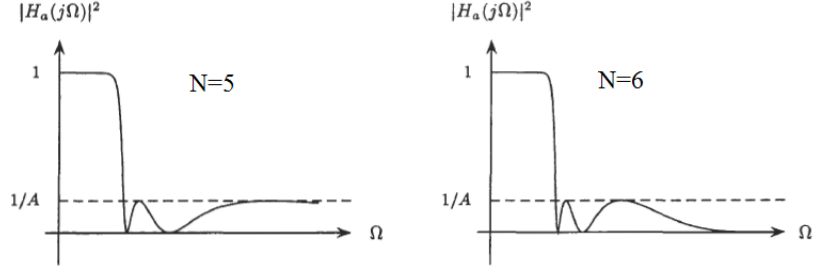
3.3.2.1.2 Chebyshev Alçak Geçiren Filtre

Chebyshev filtreler durdurma bandına dik iniş istenildiğinde kullanılır. Butterworth cevabına oranla durdurma bandına iniş daha keskindir, geçiş bandı daha dardır. Yani daha iyi bir eğime sahiptir [48,49]. Chebyshev I ve Chebyshev II olmak üzere iki çeşit filtre vardır. Chebyshev I geçirme bandında hareketli bir tepkiye, Chebyshev II ise durdurma bandında hareketli tepkiye sahiptir. Oysa Butterworth Filtreler her iki bantta monotonik tepkiye sahiptir. Chebyshev filtresi mevcut dalgalanmalara rağmen geçiş bandının dar olması özelliği sayesinde ideal süzgece daha yakındır. Chebyshev filtre, Butterworth filtreden daha düşük derecelidir.



Şekil 3.12 N=5 ve N=6 için chebyshev I filtresinin frekans tepkileri [13]

Şekil 3.12’de Chebyshev I filtresinin $N=5$ ve $N=6$ için frekans tepkileri görülmektedir. Filtrenin derecesi (N) arttıkça geçirme bandındaki osilasyon artacaktır. Geçirme bandı ile durdurma bandı arasındaki geçiş daralacaktır.



Şekil 3.13 $N=5$ ve $N=6$ için chebyshev II filtresinin frekans tepkileri [13]

Burada Chebyshev II filtresinin $N=5$ ve $N=6$ için frekans tepkileri görülmektedir. Filtrenin derecesi (N) arttıkça dalgalanma sayısı artacak ve geçiş daralacaktır.

3.3.2.2 IIR Filtre Tasarım Metotları

IIR süzgecin transfer fonksiyonu ;

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (3.6)$$

olup burada M N ’tür ve amaç $a(i)$ ve $b(i)$ katsayılarının bulunmasıdır. Bu katsayılar hesaplanırken $H(z)$ ’nin tasarımında istenen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Sayısal filtre tasarımında istenen özellikler genlik karakteristiği, faz karakteristiği gibi görünse de nedensellik, kararlılık ve basitlik gibi koşullardan dolayı sadece genlik karakteristiği ele alınır. Bu durumda tasarımda genlik karakteristiğini sağlayacak katsayıların belirlenmesini gerektirir.

3.3.2.2.1 Dürtü Değişmezliği Yöntemi

Dürtü değişmezliği yönteminde, çoğu sürekli zaman filtrenin bant genişliği belirli bir frekans bandında sınırlı olmadığından sürekli zaman yanıtının örneklenmesi ile

gerçekleştirilen bu dönüşümde frekans uzayında örtüşme görülecektir. Dürtü değişmezliği yöntemi sürekli zaman filtrenin frekans yanıtının belirli bir frekansın üzerinde ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu nedenle bu yöntem sadece alçak ve yüksek geçiren filtre tasarımında kullanılır.

3.3.2.2 Bilineer Dönüşüm Yöntemi

Butterworth, Chebyshev I ve Chebyshev II gibi IIR filtrelerin tasarımında en çok bilinen ve kullanılan metod bilineer dönüşümdür [50]. Bilineer dönüşüm s düzlemindeki j ekseninin, z düzlemindeki birim çembere sadece bir kez dönüştürerek frekans bileşenlerinin örtüşmelerini önleyen bir dönüşümdür. Böylece bu dönüşümle frekans uzayında örtüşme olmadan sürekli zamanlı bir sistemden ayrık zamanlı bir sistemin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu dönüşümün bir diğer önemli avantajı da Butterworth, Chebyshev I ve Chebyshev II gibi filtrelerin formüllerinin varlığıdır [51].

Bilineer dönüşümde s-parametresi ile z-parametresi arasındaki eşleme;

$$s = \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}} \quad (3.7)$$

Sistem fonksiyonu $H_a(s)$ olan sürekli zamanda tasarlanmış bir filtreye bilineer dönüşüm uygulanmasıyla elde edilen ayrık zamanlı filtrenin transfer fonksiyonu;

$$H_z(z) = H_a\left(\frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}\right) \quad (3.8)$$

Sürekli zamanlı filtre frekansı ile ayrık zamanlı filtre frekansının eşlenmesi için bilineer dönüşüm;

$$\Omega = \arctan\left(\frac{1-\cos\omega}{\sin\omega}\right) \quad (3.9)$$

$$\Omega = \arctan\left(\frac{1-\cos\omega}{\sin\omega}\right) \quad (3.10)$$

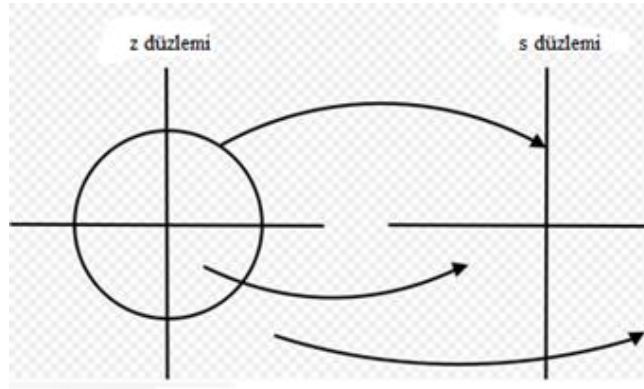
dönüşümleri kullanılır.

Bilineer dönüşümle;

1-Sağ yarı s düzlemi bölgesi, z düzleminde $|z|=1$ birim dairesi dışındaki noktalara karşılık gelir.

2-s-düzlemindeki j ekseni üzerindeki noktalar, z düzleminde $|z|=1$ birim dairesi üzerine düşer.

3- Sol yarı s düzlemi bölgesi, z düzleminde $|z|=1$ birim dairesi içindeki noktalara karşılık gelir [43].



Şekil 3.14 s-z düzlemi ilişkisi

3.3.2.3 IIR ve FIR Filtreler Arasındaki Farklar

IIR filtreleri kontrol etmek zor olup belli bir fazı yoktur. FIR filtreler ise mümkün olduğunca doğrusal bir faza sahiptir. IIR kararsız olabilir fakat FIR daima kararlıdır.

FIR filtreler doğrusal faz karakteristiklerine sahipken, IIR filtreler doğrusal olmayan uygulamalarda kullanılır. FIR'ın gecikme karakteristikleri daha iyiysen daha fazla hafıza gerektirir. IIR filtreler kutup ve sıfırlardan oluşup daha az hafıza gerektirir. IIR filtrelerin uygulaması zor olabilir ve aynı zamanda gecikme ve bozunum ayarları kutup ve sıfırlara göre değişiklik gösterdiğinden dolayı bu da filtrelerin kararsız olmasına neden olurken FIR filtreler kararlı kalır.

FIR ve IIR filtreler sayısal sistemlerin filtrelenmesi için kullanılır. FIR filtrelerin kullanımı geniştir. FIR filtreler sadece paya (numerator) sahipken, IIR filtreler hem pay (numerator) hem de paydaya (denominator) sahiptir.

Sistem tepkisinin sonsuz olduğu yerde IIR filtreler, sıfır olduğu yerde ise FIR filtreler kullanılır. FIR filtreler, doğrusal faz tepkisine ve tekrarsız olmalarından dolayı, tekrarlı olan ve geri besleme gerektiren IIR filterlere göre tercih edilirler. Çok az gecikmeyle IIR filterlerin sayısal etkinliği IIR filterleri önemli kılar. FIR filtreler, sayısal geri besleme sistemlerinde uzun gecikmeler oluştur bu da problemlere sebep olur [52].

4. ÇOK DÜŞÜK FREKANSLI SİNYALLER (VLF) ve UYGULAMALARI

VLF çok düşük frekanslı radyo dalgaları, atmosferin iyonize olmuş en alt tabakası ile dünyanın yüzeyi arasında şekillenen yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılırlar. Bu dalgalar 3-30 kHz frekanslarında olup uzak mesafelere kolaylıkla yayılabilirler. Bu sinyallerin genlik ve fazları sinyalin ulaştığı noktadaki iyonosferin elektriksel iletkenliğine bağlıdır. Olumlu şartlar altında VLF sinyallerinin özellikleri, alt iyonküredeki bölgesel karışıklıkların geçici yapılarını belirlemede kullanılabilir [53].

4.1 Yer-İyonküre Dalga Kılavuzu

Atmosfer içerisinde birçok gaz bulunduran bir hava tabakasıdır. Atmosferin yedi tabakaya ayrıldığı kabul edilir ve her tabakadaki sıcaklık, basınç, nem değeri ve içinde meydana gelen olaylar birbirinden farklılık göstermektedir. Yeryüzünden uzaya doğru atmosfer tabakaları troposfer, stratosfer, ozonosfer, mezosfer, termosfer, iyonosfer ve ekzosfer şeklinde sıralanır. Atmosfer tabakalarından her birinin, insanların ve yeryüzündeki canlıların hayatı açısından çok önemli vazifeleri vardır.

Yağmurların oluşmasından, zararlı ışınların engellenmesine, radyo dalgalarının yansıtılmasından, göktaşlarının zararsız hâle getirilmesine kadar her tabakanın kendine has bir fonksiyonu bulunmaktadır. Tez çalışmasında bizim için önemli olan tabaka, radyo dalgalarının yeryüzünde yayılmasında yansıtıcı perde görevi görmesini sağlayan iyonosfer tabakasıdır.

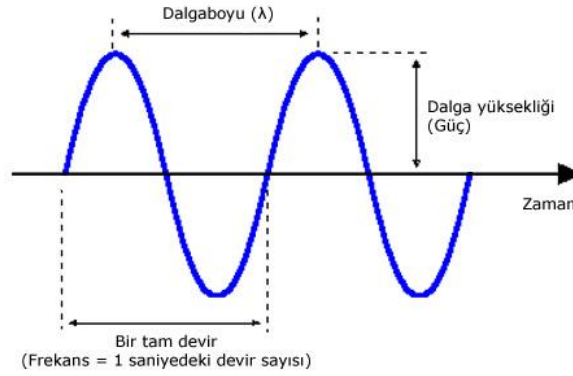
İyonküre, radyo dalgalarının yayılımını etkileyecek şekilde iyonlaşmış, atmosferin tabakalarından biridir. Atmosfer içerisindeki iyonkürenin, yaklaşık olarak 50 km'den başladığı ve He^+ ve H^+ iyonlarının oluşturduğu yüksekliğe kadar devam ettiği kabul edilmektedir. İyonküre elektriksel olarak da nötr kabul edilmektedir [54]. İyonkürenin varlığı, 19.yüzyılın sonlarına doğru Dünya'nın manyetik alanının yıllık değişimleri göz önüne alınarak yapılan deneylerle ve özellikle Marconi'nin 1901'deki Atlantik aşırı haberleşmesiyle açığa çıkmıştır.

İyonküre, haberleşme sistemlerinin en önemli yayılım ortamıdır. İletişim kalitesini artırmak amacıyla iletim ortamı davranışları sürekli olarak takip edilmektedir. Uzun

mesafe radyo haberleşmesinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi, kullanılan radyo dalgalarının frekansına, mevsime, güneşin durumuna, yayın yapılan yerin konumuna ve günün saatine bağlı olarak haberleşme mesafesi 100 km'den 10.000 km'ye kadar değişmektedir.

4.2 Radyo Haberleşmesi

Radyo haberleşmesinin anlaşılması öncelikle elektromanyetik dalgaların kavranmasıyla anlaşılır. Radyo dalgaları x ışınlarını, ultraviyole ışınlarını ve görünür ışığı içeren elektromanyetik ışınlarla ilgilidir. Bu dalgalar dış ortama ışık hızı ile yayılırlar. Radyo dalgaları genlik, frekans ve dalga boyu açısından Şekil 4-1'deki gibi karakterize edilir.



Şekil 4.1 Radyo dalga özellikleri

Radyo dalgalarının genliği diğer bir ifadeyle gücü dalganın en tepe noktası ile en düşük noktası arasındaki mesafe yüksekliği ile ölçülüp volt cinsinden ifade edilir. Frekans, bir periyottaki saykıl tekrarıdır. Frekans Hertz (Hz) ile ifade edilip, bir Hertz saniyedeki bir saykılı ifade eder. Dalga boyu ise dalganın en yüksek veya en çukur tepeler arasındaki mesafe ile ifade edilir. Dalga boyu ile frekansın çarpımı sabit olup ışık hızına eşittir. Diğer bir deyişle frekans ile dalga boyu ters orantılıdır.

İyonosfer, elektrik yüklü parçacık ve gazların bulunduğu, dünya yüzeyinden 50-440 km yükseklikteki atmosfer tabakasıdır. İyonizasyon, güneş ışınlarından gelen radyasyon sonucuyla iyonosferdeki atomların elektronlarını kaybedip ve elektriksel olarak yüklü

parçacıklar hâline gelmesiyle oluşan bir süreçtir [55]. Dünya'yı çepeçevre saran iyonosferdeki elektrik yüklü gaz molekülleri (iyonlar) radyo dalgalarını yansıtarak ufuk ötesi haberleşmeyi mümkün kıldığından dolayı ufuk ötesi telsiz ve radyo haberleşmesi için çok önemlidir. İyonosferde frekansa ve iyonlaşmaya bağlı olarak radyo dalgaları tamamen yutulur, kısmen kırılmaya uğrayıp uzaya yayılır veya yansıtılarak yeryüzüne geri döner. 30 MHz frekansa kadar olan elektromanyetik dalgalar iyonosferden yansıtılarak dünyaya geri dönebilir.

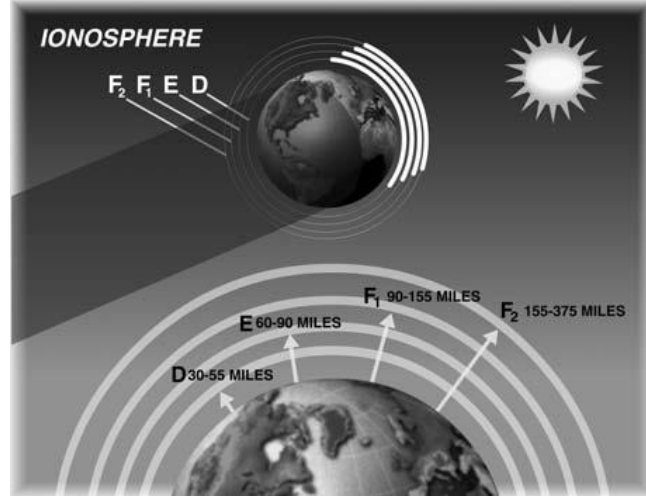
4.3 İyonkürenin Katmanları

İyonküre, iyonizasyona bağlı olarak değişen tabakalardan oluşmaktadır. Bu tabakalar D, E, F bölgeleri olarak isimlendirilen farklı seviyelerde iyonlaşmış tabakalardan oluşur [54]. Bu bölgeler içerisindeki F bölgesi kendi içerisinde farklı özellikler gösteren F1 ve F2 bölgelerine ayrılır. Şekil 4.2'de iyonkürenin katmanları gösterilmiştir. İyonlaşmış bu tabakalar elektriksel olarak nötr özellik göstermektedir. Gün içerisinde bu tabakalar farklı karakteristikler göstermektedir. Gündüzleri D, E, F1, F2 katmanlarının tamamı bulunurken, güneşin olmadığı geceleri D katmanı tamamen kaybolur, E katmanı zayıflar, F1 ve F2 katmanları da birleşerek tek F katmanlarına dönüşür.

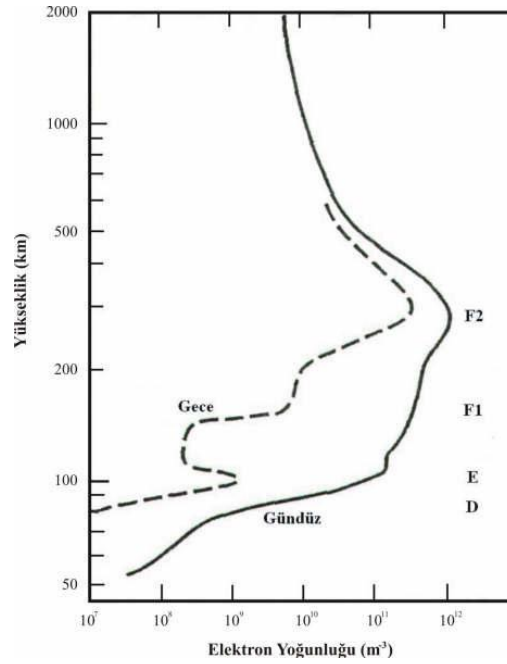
İyonizasyon güneş ışınlarından kaynaklandığı için iyonkürenin en dış yüzeyi, en alt yüzeyine göre daha çok iyonize olmaya meyillidir. Yani dış katmanların, iç katmanlara göre iyonlaşma seviyeleri daha yüksektir. Bu da demektir ki güneş ışınlarının emiliminin fazla olduğu bölgelerde iyonlaşma daha fazla olacaktır.

Elektron yoğunluğu, iyonküre yapısını belirleyen önemli bir parametredir [57]. Güneşten gelen ışınların atmosfer tarafında emilmesi, sıcaklık değişimine neden olduğundan dolayı bu sıcaklık değişimi de moleküllerin iyonlaşmasına ve elektronların serbest kalmasına neden olacaktır. İyonkürede üst katmanlara doğru çıkıldıkça elektron kütlelerinin hafif olmasından dolayı elektron yoğunluğu artmaktadır. Bu da demektir ki elektron yoğunluğu en fazla F2 bölgesinde bulunmaktadır. Şekil 4-3'te iyonküre elektron yoğunluğunun yüksekliğe bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Gün içerisinde elektromanyetik dalgaların yayılımı açısından en uygun iletim ortamı gece şartlarında oluşan elektron yoğunluğudur. İyonlaşma ve iletkenlik değişimi gün içerisinde, mevsimden

mevsime ve güneş lekeleri ile depremlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İletkenlik, güneş ışığı ve güneş lekelerinin etkisi ile gündüzleri çok yüksektir.



Şekil 4.2 İyonküre katmanları [55]



Şekil 4.3 İyonküre elektron yoğunluğu [53]

4.3.1 D Bölgesi

D tabakası iyonosferin en iç katmanıdır. Yeryüzünden yaklaşık 70-90 km yukarıda bulunmaktadır. D katmanındaki iyonlaşma yoğun X ışınlarından ve Lyman- α ışımlarından kaynaklanmaktadır. İyonizasyon gün içerisinde günün değişik zamanlarında

farklılık göstermektedir. En fazla iyonizasyon güneş ışığının en fazla olduğu anda olacağından dolayı en yüksek iyonlaşma seviyesi öğlen yani güneşin en tepede olduğu anda gerçekleşir ve güneş batarken iyonlaşma hızla azalır.

4.3.2 E Bölgesi

E tabakası ionosferin ikinci katmanıdır. Yeryüzünden yaklaşık 110-130 km yukarıda bulunmaktadır. E katmanındaki iyonlaşma zayıf X ışınlarından kaynaklanmaktadır. E bölgesinde de maksimum iyonizasyon öğle saatinde, minimum da gece yarısında görülmektedir.

4.3.3. F Bölgesi

F tabakası ionosferin üçüncü katmanıdır. F katmanındaki iyonlaşma güneşten gelen mor ötesi ışınlarla oluşmaktadır. F bölgesi ionosferin en fazla iyonlaşan bölgesi olduğundan dolayı uzun mesafeli iletişimde kullanılmaktadır. F tabakasında iyon ve elektron birleşmeleri hava yoğunluğunun F tabakasının bulunduğu yükseklikte az olmasından kaynaklanmaktadır [55]. Gün içerisinde F tabakası F1 ve F2 olmak üzere iki tabakaya ayrılır. F1 tabakası yeryüzünden 150-200 km mesafede olup, sadece gündüzleri oluşur. Gece ise 85 km kalınlıktaki F2 tabakası ile birleşir. F2 tabakası maksimum iyonizasyona öğlen ulaşır, gece boyunca iyonize halde kalır ve gün doğumundan önce en düşük seviyeye ulaşır. F2 katmanı gün içinde 10-20 MHz, gece ise 3-8 MHz için kullanılabilir. Bundan dolayı geceleri faydalanılan tek katman F katmandır [56].

Güneş ışınımındaki yoğunluğa bağlı olarak iyonizasyon değişiklik göstermektedir. Bu yoğunluk günün değişik saatlerine veya mevsim değişimlerine bağlı olarak değişir. Bahar ve yaz aylarında aydınlık süresi çok daha uzun olduğundan iyonizasyon en fazladır. Bu süre zarfında dalgalar yoğun bir şekilde iyonize olmuş D ve E bölgelerinde geçerken emilir ve zayıflatılırlar. Buna karşılık sonbahar ve kış aylarında gün içindeki aydınlık süresi daha az olduğundan ışınlar D ve E bölgelerine daha az giderler. Böylece düşük frekanslı radyo dalgaları kolaylıkla zayıf iyonlaşma durumundaki bu katmanlardan geçerler. Buna bağlı olarak da F katmanına ulaşan sinyal daha güçlü olur ve daha uzun mesafelere yansiyarak yol alır.

İyonizasyon değişimine sebep olan diğer bir durum da 11 yıllık güneş lekeleridir. Güneş lekeleri, yüksek seviyede iyonizasyona sebep olan radyasyon patlamalarını oluştururlar. Güneş lekeleri arttıkça buna bağlı olarak da iyonizasyon daha fazla olacaktır. Güneş lekelerinin düşük olduğu dönemlerde E ve F katmanlarının iyonizasyonu sinyali yeryüzüne yansıtacak kadar kuvvetli olmadığından dolayı 20 MHz üstü frekanslar kullanılamaz. Buna karşılık güneş lekelerinin en yoğun olduğu dönemde ise 30 MHz üzeri frekanslarda dünya çapında haberleşme yapılabilir.

4.4 VLF Sinyallerindeki Tedirginlikler

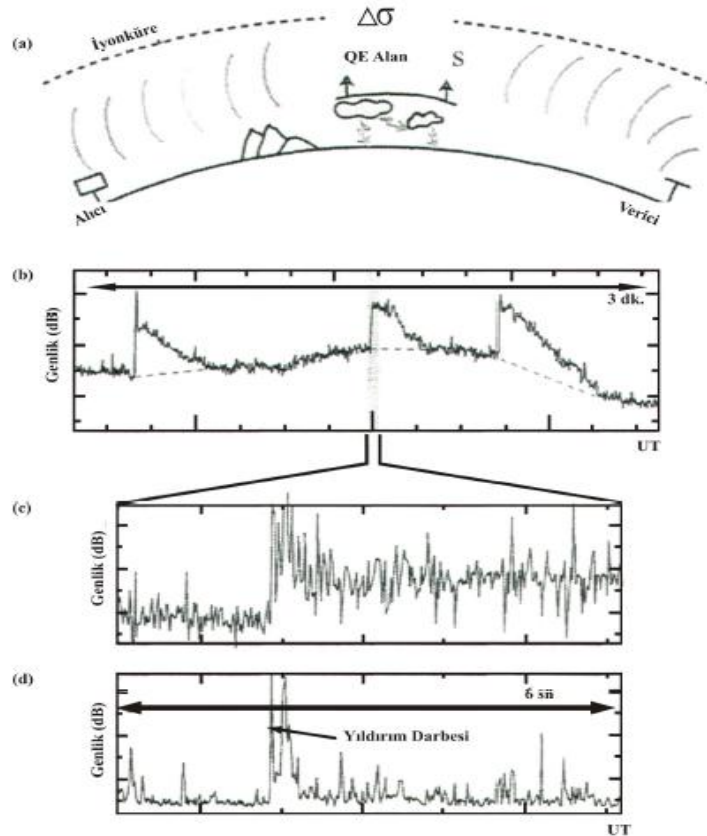
D bölgesindeki iyonosferik düzensizliklerin uzaktan algılanması için VLF sinyallerinin incelenmesi önemlidir. VLF teknikleri kullanılarak güneş patlamaları, meteor yağmurları, nükleer ateşleme ve gamma ışınları gibi konularını içeren D bölgesinde meydana gelen olaylar üzerine çalışılmıştır. Gece boyunca yer-iyonosfer dalga kılavuzunda yayılan VLF sinyalleri çok küçük bir orandaki ışıma ve iyonizasyon artışına karşı duyarlıdırlar. Çünkü bu durum yaklaşık 85 km yükseklikteki duyarlılığı etkileyebilir.

Yıldırım etkili VLF olayları, Erken/Hızlı (Early/Fast) ve LEP (Lightning-induced Electron Precipitation) olaylarıdır. Erken/Hızlı VLF olayları, alt iyonkürenin iletkenliği üzerindeki bir yıldırım deşarjının doğrudan etkisi sonucunda oluşur. LEP olayı ise yıldırımın alt iyonküredeki iletkenlik üzerinde dolaylı etkisi sonucunda ortaya çıkar. Yani iyonosferin iletkenliğinin değişken olmasının dolaylı bir sonucudur. Yıldırım boşalması sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar manyetoküreye yayılır. Bu dalgalar manyetokürede tuzaklanan enerjili elektronlarla etkileşerek bunların alt iyonküreye yağmasına ve ikinci bir iyonlaşmaya sebep olur.

4.4.1 Erken/Hızlı VLF Olayları

Erken/hızlı VLF olayları altiyonküredeki bir VLF sinyalinin genlik ve fazındaki karakteristik değişiklikleridir. Bu olaylar yıldırım boşalmasının ardından 20 ms içinde olur ve çok yavaş bir iyileşme gösterir [59]. Şekil 4.6'da Erken/hızlı olayına ait genel gösterim verilmiştir.

Bu olayların altında yatan fiziksel mekanizma henüz açıklanamamasına rağmen elektrostatik fırtına bulutlarının sebep olduğuna işaret edilmektedir. Elektrostatik fırtına bulutları, D bölgesinin ısınmasına ve buna bağlı olarak da bu bölgenin iletkenliğinin değişimine sebep olur. Bu elektrostatik fırtına bulutları kendi sahip oldukları enerji ile iyonosferik elektronların aynı seviyede ısınmasını sağlarlar. Yıldırım boşalmaları gibi durumlarda elektrostatik fırtına bulutlarının yüklerindeki değişiklik D bölgesinin ısınma veya soğumasına neden olur. Yıldırım boşalmalarıyla eş zamanlı olarak oluşan alt iyonküredeki VLF sinyallerindeki değişiklikler erken/hızlı VLF olayları olarak bilinir [60]. D bölgesinde meydana gelen ısınma ve soğumaya bağlı olarak alt iyonküredeki VLF sinyallerinin yansıma yüksekliğini etkiler (yaklaşık 80 km). Bu da Elves [61] olarak bilinen optiksel boşalmaların ve Sprites [62] olarak bilinen iyonlaşma sütunlarının sebep olduğu elektromanyetik dürtülerle ikinci bir iyonizasyona sebep olabilirler [59].



Şekil 4.4 E/F Olayı **a)** Alıcı ve verici arasındaki yayılım yolu ve olay ile iyonküre etkileşimi **b)** Alıcıya gelen sinyalin 3 dakikalık örneği **c)** Ortadaki olayın büyütülmüş hali **d)** Olayın başlangıcı ile birlikte neden olan yıldırımın gösterimi [53]

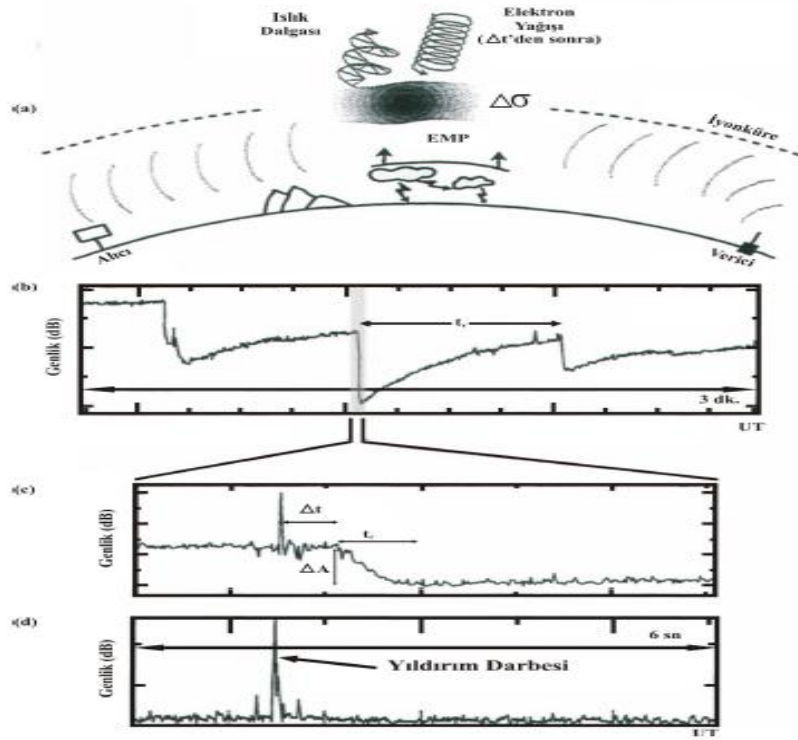
4.4.2 Yıldırım Etkili Elektron Yağışı Olayları (LEP)

İyonosferin en alt yüzeyi yıldırım boşalmalarından doğrudan etkilendiği gibi yıldırım etkili elektron yağışı olarak bilinen LEP olayları ile de dolaylı olarak iyonosferik tedirginliklere sebep olur. Lep olayı bir yıldırım boşalması ile birlikte birkaç yüz ms saniyeden 1 sn'ye kadar sürebilen başlangıç gecikmesi, 0.5-1.5 sn arası sürebilen başlama süresi ve 10-10 sn bir geri dönüşüm periyodu gösterir [63]

LEP olayları, iyonosferin en alt kısmındaki düşük frekanslı sinyallerin genlik ve fazlarında tedirginliğe sebep olur. LEP olaylarını, erken/hızlı boşalma olaylarından ayıran özellik başlangıç gecikmesi ile başlama süresinin olması ve sinyalin önceki haline ulaşabilmesi daha yavaş gerçekleşir.

LEP olaylarının, fiziksel mekanizması magnetosferik dalga-parçacık etkileşimini kapsar. Yıldırım boşalması ile oluşan enerjinin bir bölümü magnetosferde ısık dalgaları (whistler) şeklinde yayılır. Bu dalgalar yerin radyasyon kuşağındaki tuzaklanmış elektronlarla etkileşir ve eğim açılarını değiştirir. Kayıp konisine yakın elektronların alt iyonküreye yağmasına sebep olur. Bu yağın yüksek enerjili elektronlar ikincil iyonlaşmaya sebep olurlar [64].

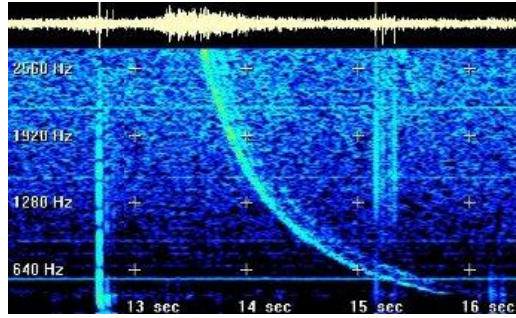
Bu tip olaylar ilk olarak Antarktika'daki VLF vericileri izlenirken Mike Trimpi tarafından keşfedilmiştir [65]. Literatürde, 1970 ve 1980'li yıllarda Trimpi olarak isimlendirilen VLF olayları, early-fast ve diğer tip olayların keşfedilmesiyle, olaylar early/fast olayları ve lep olayları olarak spesifikleştirilmiştir. VLF verici sinyal tedirginlikleri saçılan enerjili elektronlar tarafından VLF yansıma yüksekliğindeki ikinci iyonlaşma olarak kabul edilmiş ve yıldırım etkili elektron yağışı olayı olarak isimlendirilmiştir. Elektron yağışıyla D bölgesinin iletkenliğinde oluşan tedirginlik, alt iyonosferdeki VLF sinyalinin genlik ve fazını bozucu etki yapar. LEP olayını, Erken/Hızlı VLF olayından ayıran ilk özellik LEP olayına sebep olan yıldırımın direkt olarak bozulmuş bölgenin hemen aşağısına isabet etmek zorunda olmayıp daha aşağılara isabet edebilmesidir. İkinci olarak da yayılım bölgesinin 100 km'den fazla olabilmesidir. Bozunuma uğramış VLF sinyali, yaklaşık 1 s süren elektromanyetik (sferic) darbelerin sebep olduğu başlama gecikmesi (Δt), 0.5-1.5 s süren t_d iyonküreye ne kadar süreyle elektron yağışı olduğunu gösteren oluşum süresini, 10-100 s arası süren sinyalin eski haline dönmesini sağlayan iyileşme periyodu t_r ifadeleri ile karakterize olunur. Şekil 4.5 LEP olayının genel gösterimini verilmektedir.



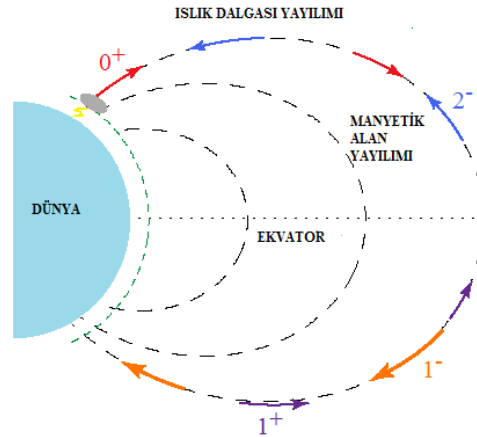
Şekil 4.5 LEP Olayları **a)** Alıcı ve verici arasındaki yayılım yolu ve yıldırım etkili elektron yağışı **b)** Alıcıya gelen sinyalin 3 dakikalık örneği ve t_r geri dönüşüm süresi **c)** Ortadaki olayın büyütülmüş hali ve neden olan yıldırıma bağlı olarak t_d süresi, olayın büyüklüğü ΔA ve başlangıç gecikmesi t_s karakteristikleri ile birlikte bir LEP olayı örneği **d)** Olaya sebep olan yıldırım darbesinin sinyal üzerindeki görünümü[53].

Isık dalgaları, dünyanın manyetik alanı boyunca yayılan, yıldırımla oluşan düşük frekanslı elektromanyetik dalgalarlardır [66]. Isık dalgalarına ait bu frekanslar 1 ile 30 kHz arasındadır. Bu dalgalar elektromanyetik dalgalar olmalarına rağmen ses sinyallerini kapsamaktadırlar. Uygun bir alıcı kullanılması durumunda bu dalgalar ses sinyallerine çevrilebilirler [67]. Yıldırımlı fırtınalarda bu dalgalar kısa süreli bir gecikme ve geniş bantlı bir elektromanyetik tepki oluşturur. Enerjinin bir bölümü yerküre-iyonosfer dalga kılavuzunda radyo dalgaları olarak yayılırken bir kısmı da bu dalga kılavuzundan kaçarak magnetosferde dünyanın manyetik alanı boyunca yayılır. Isık dalgaları yayıldıkça, bu ısıık dalgaları ionosfer ve magnetosferdeki plazma tabakasından dolayı saçılma maruz kalır. Böylece yüksek frekanslı sinyallerin önce, alçak frekanslı sinyallerin daha sonra ulaştığı karakteristik bir spektrum oluşur (Şekil 4.6). Gerçekte ısıık dalgası adını ısıık sesinden almaktadır. Şekil 4.7'da yıldırımlı Kuzey yarımküredeki fırtınanın oluşturduğu ısıık dalgaları yerin manyetik alanı boyunca Güney yarımküreye doğru yayılır ve sonra

iyonofere ulaştıktan sonra tekrar kuzey yarımküreye yayılımını göstermektedir [68]. Sayıların üzerindeki numaralar sinyalin sıçrama yolunu ifade etmektedir [69]. + ve – işareti ise dalganın yukarıya ve aşağıya yayılacağı yolu ifade etmektedir. 0^+ dalganın yayılımının yukarıya doğru olacağını ifade eder. Dalga ekvatoru geçtikten sonra 1^- olarak ifade edilir. Yansıyan dalga 1^+ olarak isimlendirilir. Daha sonra tekrar ekvatoru geçtiğinde 2^- olarak isimlendirilir.

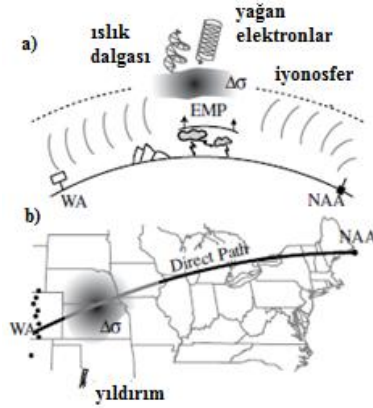


Şekil 4.6 Karakteristik spektrum [63]



Şekil 4.7 Işık dalgası yayılımı [64]

Işık dalgaları yayılırken radyasyon kuşağındaki saklanmış elektronlarla etkileşmesiyle elektronların eğim açılarını değişmesine sebep olur. Aynı zamanda kayıp konisine yakın olan elektronların alt iyon küreye yağmasıyla bu yüksek enerjili elektronlar ikinci iyonlaşmaya sebep olurlar. Böylece alt iyonküredeki VLF sinyalinin iletkenliği değişir [1]. Şekil 4.8'de yıldırım etkili elektron yağışının dairesel yayılarak ikinci iyonlaşmaya sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8 İkinci İyonlaşmaya Oluşumu [53]

Elektromanyetik Darbeler (sferic), yıldırım boşalmasıyla oluşan geniş bantlı elektromanyetik darbelerdir. Bu darbeler dünya-iyonosfer dalga kılavuzunda zayıflamadan yayılabilir ve kaynağından kilometrelerce uzağa ulaşabilirler. Zaman bölgesinde bu darbelerin genliklerinde ani yükselmeler oluşabilir (spike). Spektrumda bu darbeler, atmosferik koşullara bağlı olarak birkaç kHz'den, 10 kHz'lere uzanan dikey çizgiler olarak görünürler. Bu darbelerden yayılan enerji dünya-iyonosfer dalga kılavuzuna kaçar ve magnetosfere gider. Buradaki plazma ile ısık dalgasına dönüşür. Isık dalgalarının kaynağı elektromanyetik darbeler olduğundan dolayı, ısık dalgaları manyetosferin impuls tepki olarak ifade edilir [70]. Bu darbelerden kaynaklanan enerjinin büyük bir bölümü ELF (oldukça küçük frekanslar) ve VLF (çok düşük frekans) bandında yoğunlaşır. Bu frekans bandındaki elektromanyetik dalga elemanları için ionosferin D bölgesi ve yer iyi birer iletkenidir. Bundan dolayı da uzak mesafelerden gelen elektromanyetik dalgalar zayıflamaya uğramadan yayılabilirler. Bu dalgaların zayıflamadan yayılmasına özelliği birçok uygulamada kullanılmasına öncülük etmiştir [71].

Yıldırım darbeleri için yapılmış mevcut çalışmalar zaman ve frekans bölgesinde yapılmıştır. Bu yıldırım darbeleri her iki bölgede de karmaşık görülmektedir. Darbelerin geçici doğal yapılarından dolayı dalgacık yöntemi bu dalgaları sparse (seyrek olarak görünen gürültü şeklindeki dalgacık) şeklinde ifade etme konusunda bir bakış açısı kazandırmıştır.

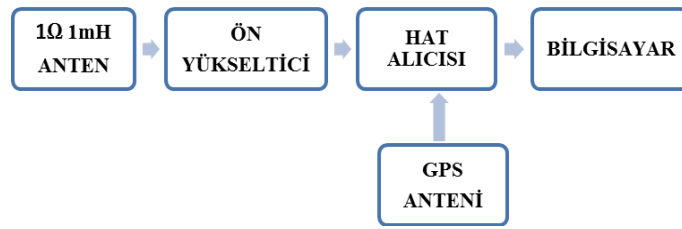
4.5 VLF Veri Kayıt Sistemi

VLF verici sistemi tarafından oluşturulan vlf işaretlerinin atmosfer ortamında iletildikten sonra alıcı tarafta tekrar elde edilmesi için gerekli yapı VLF verici sistemi, VLF alıcı sistemi, VLF anteni, Ön yükseltici, Hat alıcısı, GPS anteni, Kayıt yazılımı birimlerinden oluşmaktadır.

VLF işaretleri, 3-30 kHz frekanslarında olmasıyla uzun dalga boylarına sahip olup uzak mesafelere kolaylıkla yayılabilirler. Vericilerden gelen işaretlerin tamamı bu özelliklerinden dolayı askeri, deniz altı ve deniz aşırı haberleşmede kullanılır. Bu işaretler, atmosferin iyonize olmuş en alt tabakası ile dünyanın yüzeyi arasında şekillenen yer-iyonküre dalga kılavuzunda yayılırlar. VLF verici sisteminde üretilen veriler minimum-kaymalı sayısal kodlama modülasyon tekniğini kullanmaktadır. VLF kayıt sisteminde dünya üzerinde üretilen birçok VLF vericisi bulunmaktadır.

VLF alıcı sistemi Şekil 4.9'da görüldüğü gibi anten, ön yükseltici, hat alıcısı, GPS (Küresel Konum Sistemi) anteni ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Elektromanyetik etkiye maruz kalan sinyaller ön yükseltici ile yükseltilir ve gürültüden arındırılır. Gürültüden arındırılan işaret filtrelenmek amacıyla hat alıcısına gönderilir. Hat alıcısında filtrelenen işaret GPS zaman sinyali ile senkronize edildikten sonra işleme yazılımlarını kullanmak amacıyla bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayardaki yazılım kullanılarak sinyal ve zaman kaydedilir.



Şekil 4.9 VLF Alıcı Sistemi Blok Diagramı

VLF antenlerinde manyetik alan değişiminin küçük bir akım oluşturması amacıyla tel bir çevrim halinde sarılmıştır ve sınır değeri olarak kablo direnci 1 Ω ve indüktansı 1mH'dir. Ön yükselticide esas yükseltme işi transistörler ve diferansiyel yükselticiden oluşmaktadır. Ön yükselticide bulunan LC alçak geçiren filtreden yapılmış filtre ile yüksek frekanslı işaretlerin elektronik devreleri etkilemesi engellenir. Hat alıcısında sayısal

kontrol, işaret işleme, GPS yönetimi, Ön-yükselticiye güç sağlanması ve sistem kalibrasyonu yapılmaktadır. GPS anteninin koordine olacağı uydular ile haberleşme sağlanabilmesi için gökyüzünü görebileceği bir yerde kurulumu gerçekleştirilmelidir. Analog-Digital dönüştürücü kartları ile bilgisayar ortamına aktarılan VLF işaretleri Stanford Üniversitesi VLF grubu tarafından geliştirilen Stanford DAQ yazılımı ile işlenmektedir. Bilgisayara kaydedilen bu veriler MATLAB veri dosyası formatında olup bu veriler DVD'lere aktarılarak saklanmaktadır. Belirli sürelerle Stanford Üniversitesine aktarılan bu veriler, Stanford Üniversitesinin VLF grubuna açık olan web tabanlı platform üzerinden tüm dünyanın kullanımına sunulmaktadır.

Stanford DAQ yazılımı ile VLF işaretlerinin kaydı, kaydedilen veriye ait ayrıntılara bağlı olarak Dar Bant (NarrowBand) ve Geniş Bant (BroadBand) olmak üzere iki farklı boyutta kaydedilir.

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesinde kurulu sistemde geniş bant verileri ile yapılan kayıtlarda her verici için saniyede 100.000 veri alınır. Her verici için oluşturulan bir günlük dosya yaklaşık 23MB boyutunda olup bu yöntem bilgi boyutu bakımından en yüksektir.

Dar Bant verilerinde ise sadece bir vericiye ait olan veriler kaydedilip, incelenir. Dolayısıyla bilgi boyutu olarak daha küçüktür. Program Fourier analizi ve demodulasyon kullanarak bir frekanstaki genlik ve faz değişimlerini kaydeder. Kayıt sisteminde kayıtlı işaretler daha düşük bir örnekleme frekansı ile sayısal olarak MATLAB veri dosyasına 4 farklı dosya olarak ayrı ayrı kaydedilir. Bu dosyalardan iki tanesi genlik iki tanesi de faz değişimlerini saklı tutar. Dosyalardan birinin örnekleme frekansı 50 iken diğerinin örnekleme frekansı 1'dir. Dolayısıyla veri dosyalarının birinde saniyede 1 veri diğerinde de 50 veri kaydedilir.

4 farklı dosya olarak oluşturulan dar bant verilerinin her biri farklı örnekleme frekansı ve farklı içerikten oluşmaktadır. Bu dosyalar;

*A.MAT : İşaretin genlik bilgisini saklıdır. Saniyede 1 değer örnekleme frekansı ile çalışır.

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

*C.MAT : İşaretin genlik bilgisini saklıdır. Saniyede 50 değer örnekleme frekansı ile çalışır.

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

Fırat Üniversitesi Fizik Fen Fakültesi Fizik Bölümünde kurulu kayıt sistemi her gün UT saat dilimine göre 12:00'da kayda başlayıp 23:59'a kadar devam etmektedir. Gün değiştiğinde 00:00'da kayda tekrar başlayıp 8 saat boyunca devam etmektedir. UT 08:00'da kayıt durmakta ve MATLAB workspace içerisindeki tüm veri değişkenlerinin *.MAT dosyaları halinde kaydedilmesini sağlamaktadır. Bu saat aralıkları verici ve alıcıya göre farklılık göstermektedir. Bu işlemlerin yapılması ve Stanford Üniversitesi Star Lab'ta bulunan dünyaya açık olan sisteme aktarmak için 4 saat boyunca sistem kaydı kesilmektedir. Her bir veri MATLAB workspace'te açıldığında veri dosyasında bulunan değişkenler işaretin kaydedildiği ortamda belirlenmekte ve işaret hakkında tanımlayıcı görevlere sahiptir.

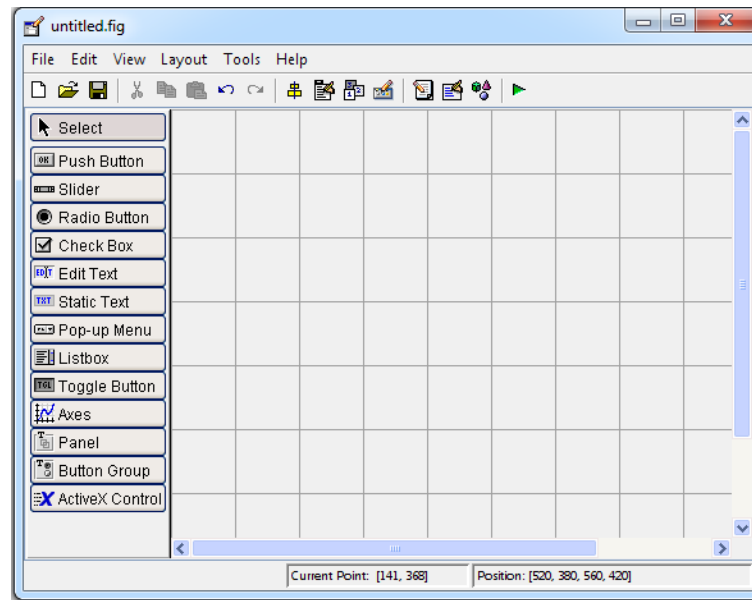
VLF veri kayıt sistemi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde bulunmaktadır. Kayıt sistemi Stanford Üniversitesi Star Lab. İle ortak olarak kurulmuş olup, iyonosferde yayılan çok düşük frekanslı VLF işaretlerinin iletim ortamında maruz kaldığı atmosferik olayların etkisini incelemek amacıyla kurulmuştur.

Ortaklaşa kurulan bu grup elektromanyetik ve uzaktan algılama, radar, kablosuz iletişim ve işaret işleme alanlarında çalışma yapmaktadır. Bu grupla koordine halinde çalışan dünyanın çeşitli noktalarında alıcı ve verici istasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonlar aracılığıyla elde edilen VLF işaretlerinin tamamı Star Lab. Tarafından tüm dünyanın kullanımına sunulmuştur.

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümüne kurulu VLF kayıt sistemi iyonosferde gerçekleşen olayları incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Nitekim bundan önceki çalışmalarda bu kayıt sistemi, deprem tahmin yöntemleri ve algoritma geliştirme çalışmalarında, yıldırım etkili olaylardan early/fast ile LEP olaylarının olduğu anı tespit etmek amacıyla kullanılan bir veri kaynağı olmuştur.

5. MATLAB’TE GRAFİKSEL KULLANICI ARABİRİM (GUI) TASARIMI

GUI, içerisinde bulunan nesnelerle kullanıcıya etkileşim sağlayan bir programın koşturulmasını sağlayan grafiksel bir program arabirimidir. GUI nesneleri menüler, araç çubukları, push butonlar, radyo butonları, grafik nesnesi, kaydırıcılar olabilir. Şekil 5.1’de GUIDE LAYOUT Editor (Guide çalışma alanı penceresi) görülmektedir. Bu çalışma penceresinde araç çubuğu, görev çubuğu ve nesnelerin bulunduğu bölüm bulunmaktadır.



Şekil 5.1 Guide çalışma alanı penceresi

Her bir nesne, GUI için tanımlanan programlama dosyasında callback (geribildirim) diye adlandırılan ayrı alt programlama parçalarına sahiptir. Bu şekilde her bir nesne için meydana gelecek olaylara GUI geri bildirim kodlarını çalıştırır. Yani, GUI hem bir arabirim hem de bir program çağrılarını icra ettirme mekanizması olarak çalışır.

5.1 GUI Oluşturma Metotları

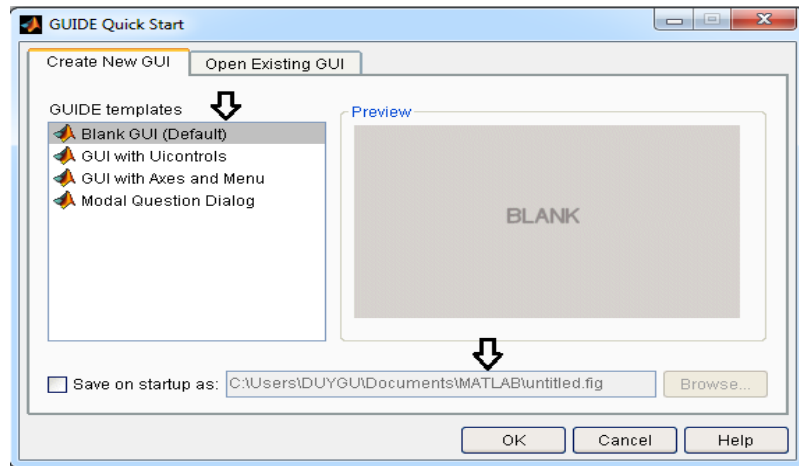
GUI arabirimi M-file programlama yöntemi ve MATLAB GUIDE aracı kullanılmak üzere iki şekilde hazırlanabilir.

GUI tasarımında kullanılan M-file programlama ile GUI tasarımları ve geribildirim programlarının yazılması tamamen program kodları kullanılarak oluşturulur. Bu metotta GUI tasarlamak çok derin programlama bilgisi gerektirmektedir.

GUI tasarımında hızlı ve pratik arabirimler tasarlamak amacıyla kullanılan bir diğer metot ise MATLAB GUIDE aracı ile tasarım yapmaktır. Bu metotla nesneler sürükleyip bırak yöntemi ile çalışma alanı penceresine yerleştirilir, özellikler penceresi ile de bu nesnelerin özellikleri üzerinde kolayca değişiklik yapılabilir. Arabirimde kullanılacak her bir nesnenin kod yazılarak programlanmasına gerek kalmayacaktır. Bu metot GUI tasarımına yeni başlayanlar için kolaylık sağlayacaktır. Bu amaçla tez çalışmasında VLF sinyallerindeki düzensizliklerin giderilmesi amacıyla hazırladığımız arabirimde MATLAB GUIDE aracı kullanıldığından bu metotla arabirim nasıl tasarlanır onun üzerinde durulacaktır.

5.2 Matlab Guide Aracı ile Arabirim Oluşturma

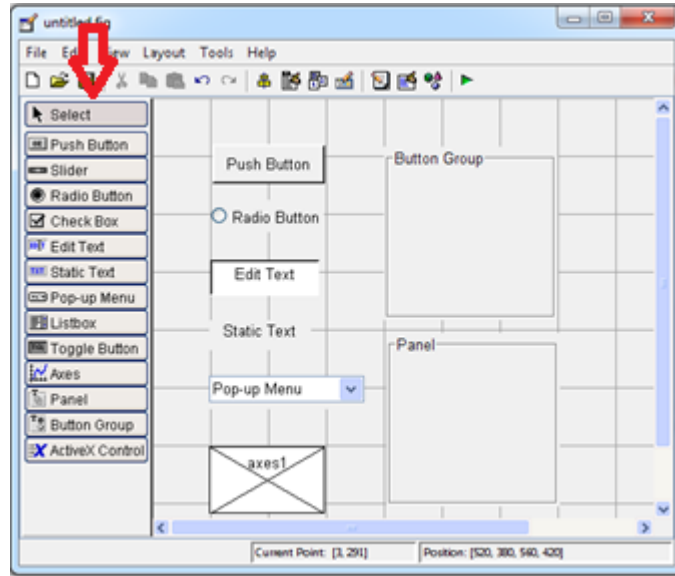
Arabirim oluşturmak için kullanacağımız MATLAB GUIDE aracını oluşturmak için ya MATLAB'te File-New-Gui seçeneklerini kullanarak ya da komut satırından guide yazılarak Şekil 5.2' de görülen pencere elde edilir. Yeni bir çalışma alanı penceresi için Blank Gui seçip oluşturacağımız çalışma penceresinin ismini verilir ve kaydedilecek yer seçilir. Şekil 5.1'deki guide çalışma alanı penceresi elde edilir.



Şekil 5.2 Guide

5.3 Nesneleri Çalışma Penceresine Yerleştirme

Oluşturduğumuz arabirimde kullandığımız metot gereği nesneler çalışma alanına sürükleyip bırak yöntemi ile yerleştirilir. Şekil 5.3'te gösterilen çalışma alanına yerleştirilmiş nesneler tez çalışması boyunca kullandığımız nesnelerdir. Bu bölümde sadece tasarladığımız arabirimde kullandığımız nesneler tanıtılacaktır.



Şekil 5.3 Gui çalışma alanı

5.3.1 Tasarımda Kullanılan Nesneler

Tasarlanan arabirimde push buton, radyo butonu, edit text, statik text, pop-up menü, axes (grafik) nesnesi, buton grubu, panel kullanılmıştır.

5.3.1.1 Basmalı Düğme (Push Button)

Hemen hemen her arabirim üzerinde görebileceğimiz bir nesnedir. Nesne oluşturulduğunda fonksiyon kendiliğinde oluşur. Bu butona basıldığında yapılacak işlemler için yazılan kodlar bu buton ile ilgili geri bildirimlerin altına yazılmaktadır.

5.3.1.2 Radio Buton

Kullanıcıya birden fazla seçenek sunulduğunda ve bunlardan sadece birisinin seçilmesi istendiğinde buton grupla birlikte kullanılır.

5.3.1.3 Edit Text

Bir kullanıcıdan bilgi girişi ya da bir değerin alınması söz konusu olduğunda giriş elemanı olarak sıklıkla kullanılan bir nesnedir.

5.3.1.4 Static Text

Kullanıcıya herhangi bir bilgi verme ya da bulunan bir sonuç veya değeri gösterme amacıyla sıklıkla kullanılan bir nesnedir.

5.3.1.5 Pop-up Menu

Kullanıcıdan alınmak istenilen bilgileri açılan bir listeden seçme özelliği taşıyan bir nesnedir.

5.3.1.6 Button Group

Radio veya toggle tipteki buton nesnelerinin bir arada kullanılarak kullanıcının birden fazla seçenekten sadece bir tanesini seçmesini sağlamak amacıyla kullanılan bir nesnedir.

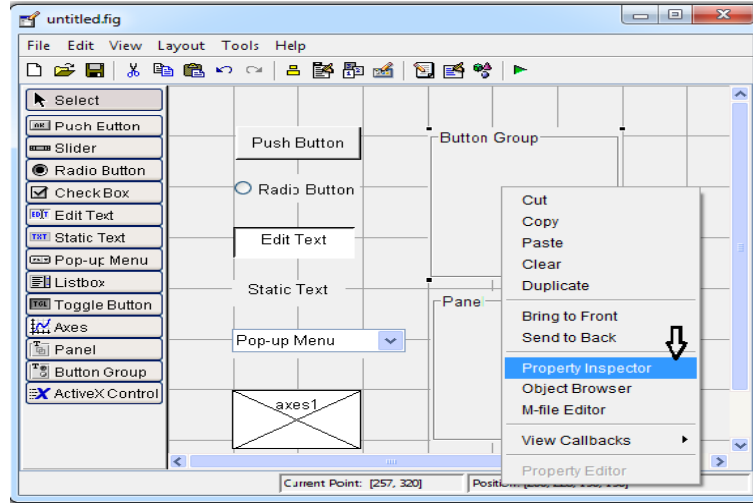
5.3.1.7 Panel

Gui nesnelerinin birarada gösterilmesini sağlayarak kullanıcıya bütün bir tasarım gerçekleştirmeyi sağlar.

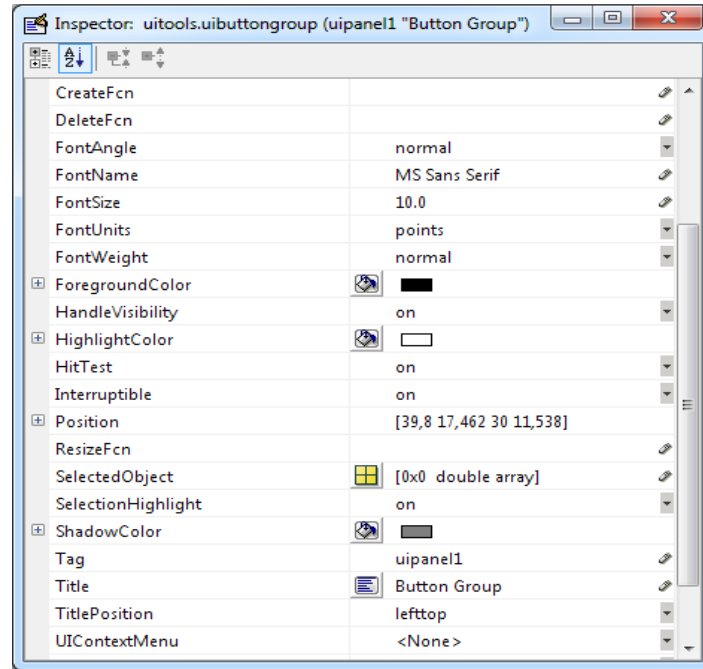
5.3.2 GUI Nesnelerinin Biçimlendirilmesi

Herhangi bir nesneye ait özelliklerin değiştirilmesi için “özellik denetleyicisi” (property Inspector) seçeneğinden faydalanılır. Bu seçeneğe erişmek için hangi nesne

üzerinde değişiklik yapılmak isteniyorsa GUI tasarım penceresinde o nesne seçilir view menüsünden Property Inspector komutu verilir (Şekil 5.4). Diğer bir yöntem ise seçilen nesne sağ tıklanarak bu komutu seçmektir. Bu komut ile açılan Şekil 5.5'teki gibi açılan pencereden ilgili nesnenin yazı boyutu, çeşidi, rengi, ismi, geribildirim kullanımda önemli yer tutan etiketleme, pozisyonu, zemin rengi, nesnenin görünür ya da görünmez oluşu ve daha birçok özelliği programlamaya gerek kalmadan yapılabilmektedir.

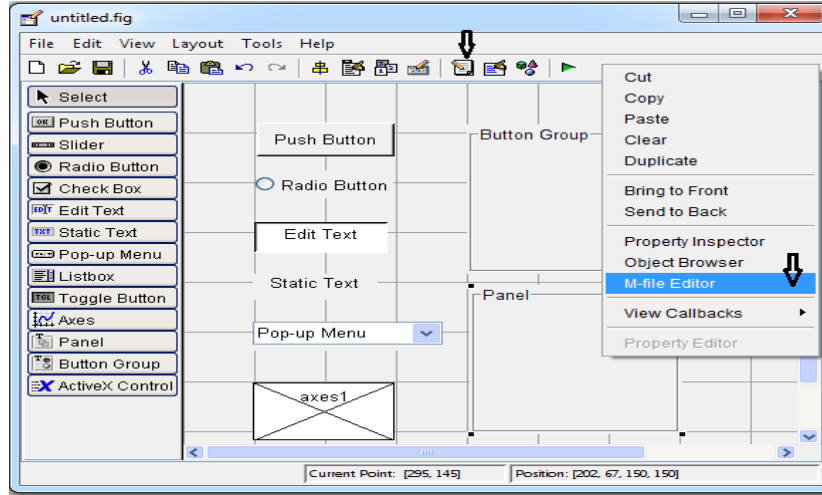


Şekil 5.4 Özellik denetleyicisi



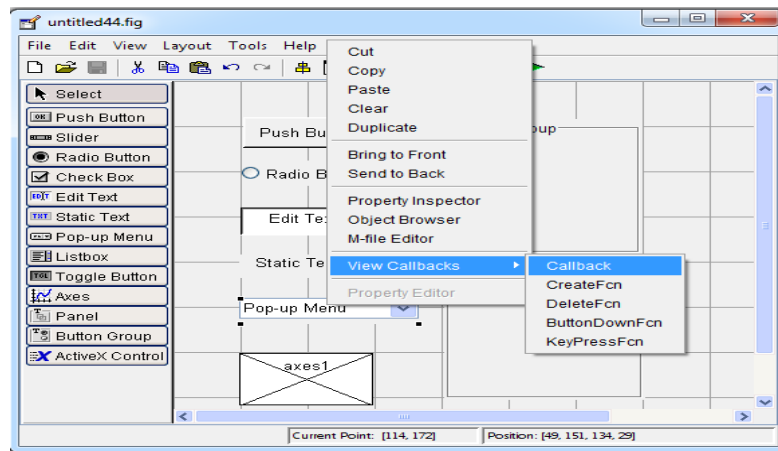
Şekil 5.5 Özellik denetleyicisi ile biçimlendirme

Şekil 5.4' te elde ettiğimiz tasarım penceresinde mevcut nesnelerin M-file programına M-File Editor seçeneği ile erişmek mümkündür. Şekil 5.6' da gösterildiği gibi bu seçeneğe iki şekilde erişmek mümkündür.



Şekil 5.6 M-file editor erişimi

GUI tasarımında kullanılan önemli seçeneklerinden biri de (callback) geri bildirim seçeneğidir. Bununla tasarlanan arabirimde hangi buton hangi işi yapacaksa onu ifade eden program komutları yazılır ve programın çalışması esnasında bu kodlar çağrılır. Kullandığımız komutlar arasında Static Text, Button Group, Axes ve Panel dışında push buton, radio buton, edit text ve pop-up menü bu seçeneğe sahiptir. GUI uygulamalarında geri bildirim türleri de mevcuttur (Şekil 5.7).



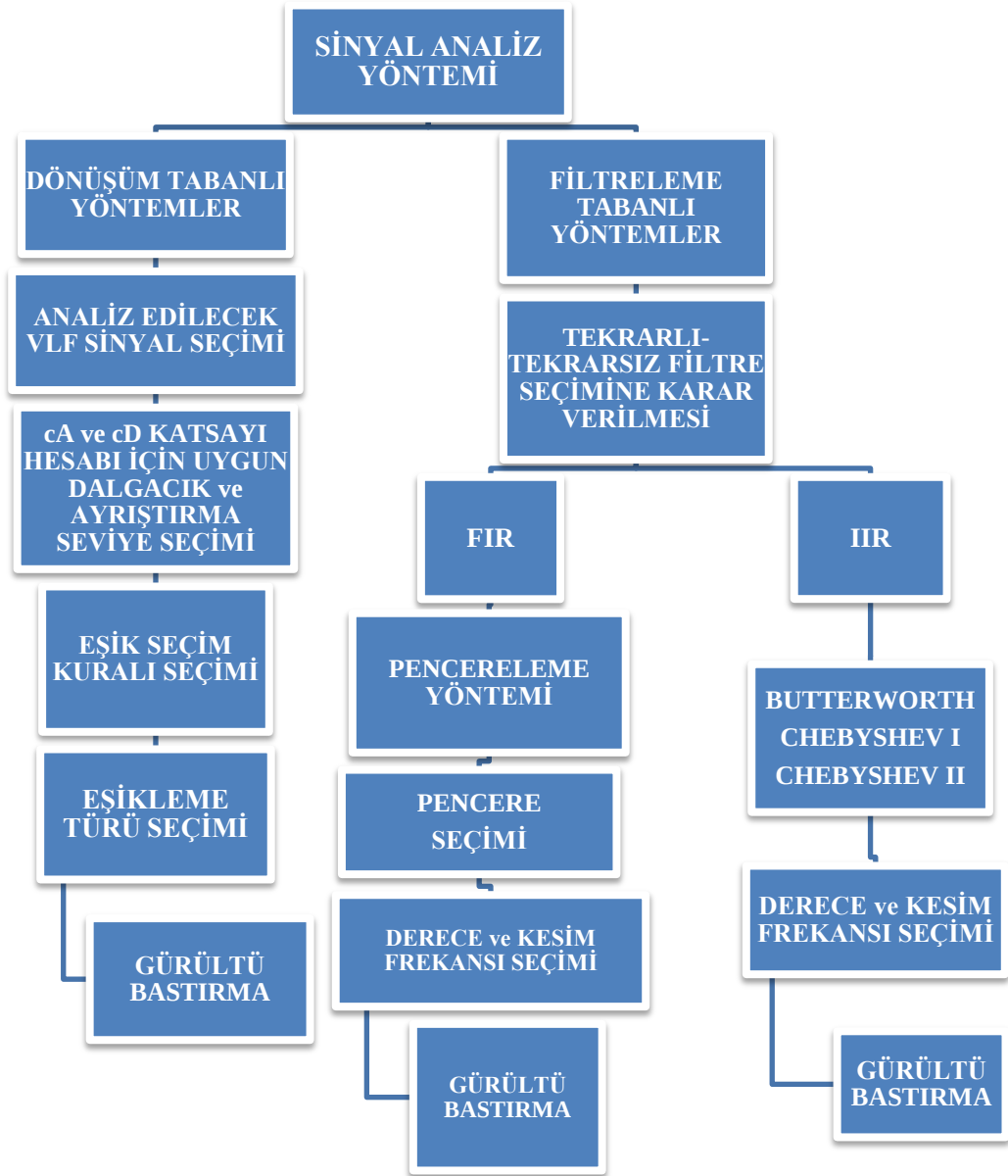
Şekil 5.7 (Callback) geri bildirimi erişimi

5.3.3 Tasarlanan Arabirim

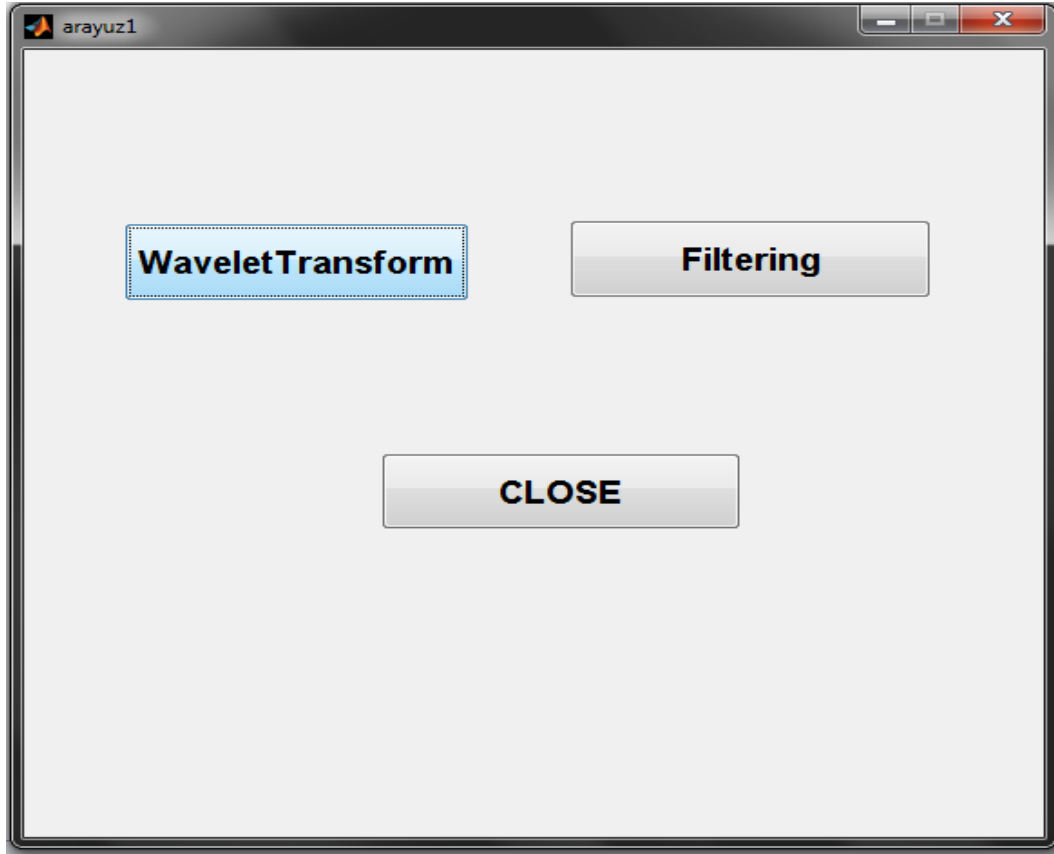
VLF sinyallerindeki gürültüleri bastırmak için dönüşüm tabanlı yöntemler ve filtreleme tabanlı yöntemler kullanılabilir. Tez çalışmasındada, dönüşüm ve filtreleme tabanlı yöntemler kullanılarak Fırat Üniversitesi Fen Fakültesine yerleştirilmiş olan VLF alıcı sisteminden elde edilen VLF sinyallerindeki düzensizliklerin giderilmesi için tasarlanan bir arabirim sunulmuştur. Bu arabirimde dönüşüm tabanlı yöntemler ve filtreleme tabanlı yöntemler bir arada verilerek kullanıcının en iyi sonuca kısa zamanda ulaşması hedeflenmiştir.

Şekil 5.9'da tasarladığımız arabirim sayfası görülmektedir. Yazdığımız programının akış diagramında da belirtildiği gibi ilk adımda hangi tabanlı yöntemin kullanılacağına karar verilir (Şekil 5.8).

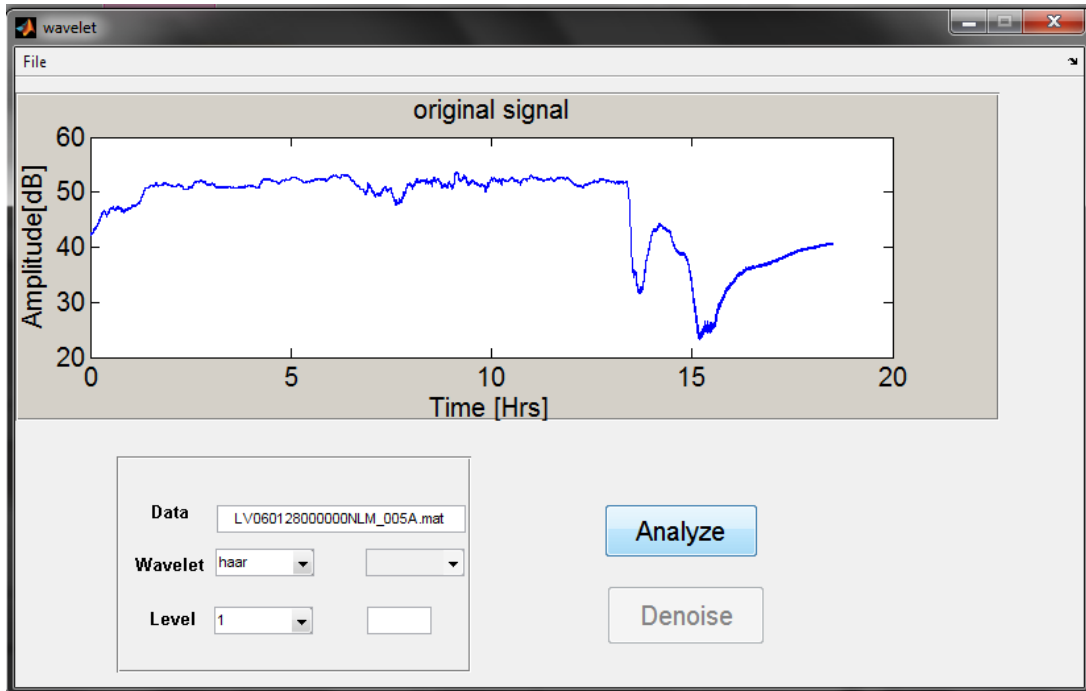
Seçilen yöntem dönüşüm tabanlı yöntem ise Fırat Üniversitesi Fen Fakültesine kurulmuş olan alıcı sistemi ile elde edilen çok düşük frekanslı VLF verilerinden herhangi biri seçilir. Daha sonra yaklaşık ve detay katsayılarını elde etmek amacıyla sinyali analiz edeceğimiz dalgacık türü ve ayrıştırma seviyesi seçilerek sinyal analiz edilir. Şekil 5.11, Şekil 5.10'da seçilmiş VLF verisinin haar dalgacığı ile 1. seviyeden ayrıştırılması sonucu cA1 ve cD1 yani sırasıyla yaklaşık ve detay katsayı değişimini göstermektedir. Sinyal, iyonosferde çeşitli gürültülere maruz kalmaktadır. Bu gürültüleri mümkün olduğunda elimine etmek amacıyla da arabirimde sinyalin eşiklenmesi ve eşik seçim kuralı seçilerek sinyalde gürültü bastırılır.



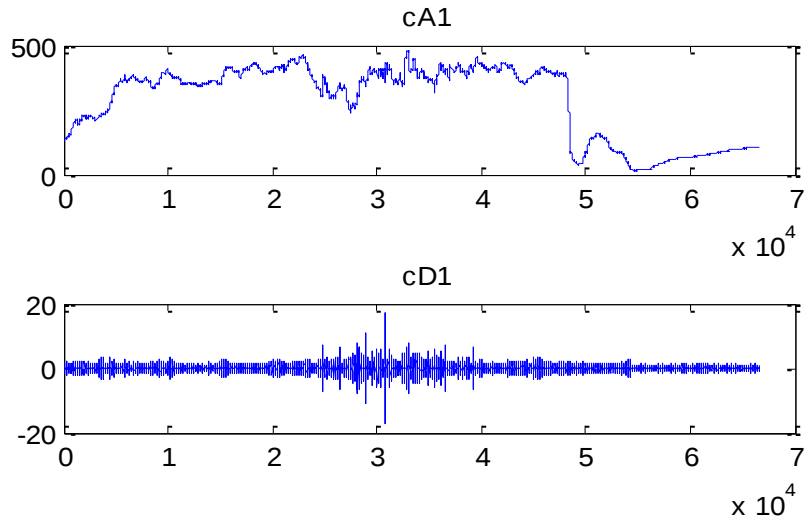
Şekil 5.8 Tasarlanan arabirim akış şeması



Şekil 5.9 Tasarlanan arabirim ana sayfası

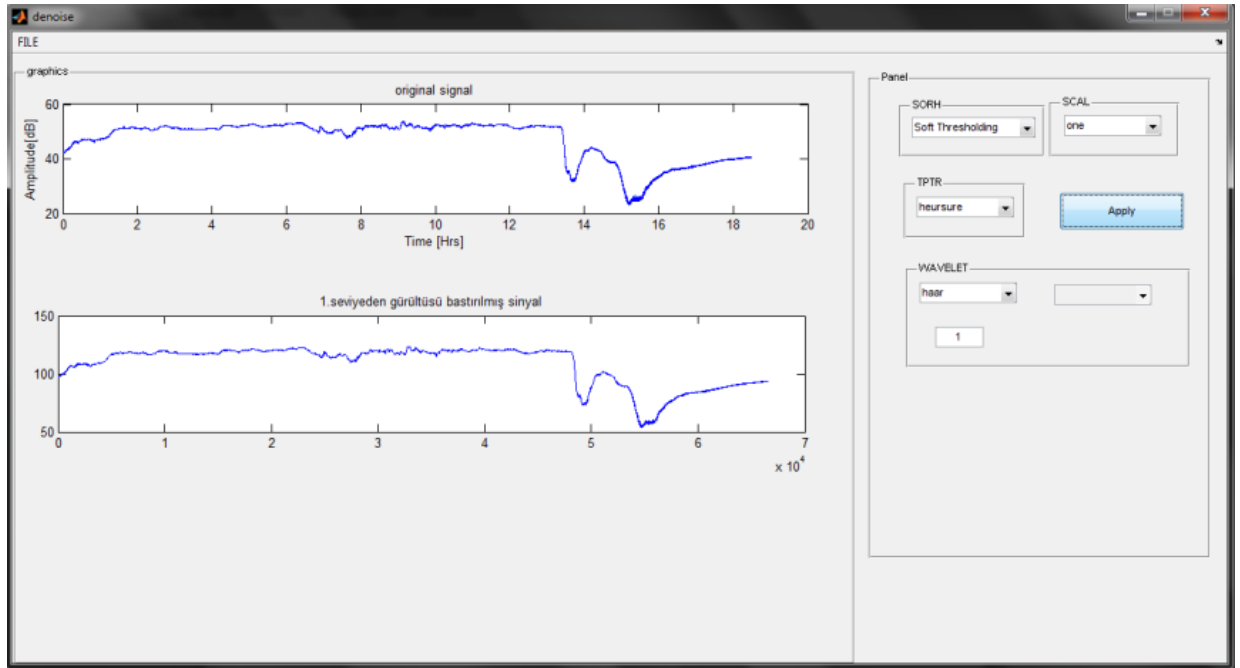


Şekil 5.10 İstenen VLF verisinin arabirime çizdirilmesi

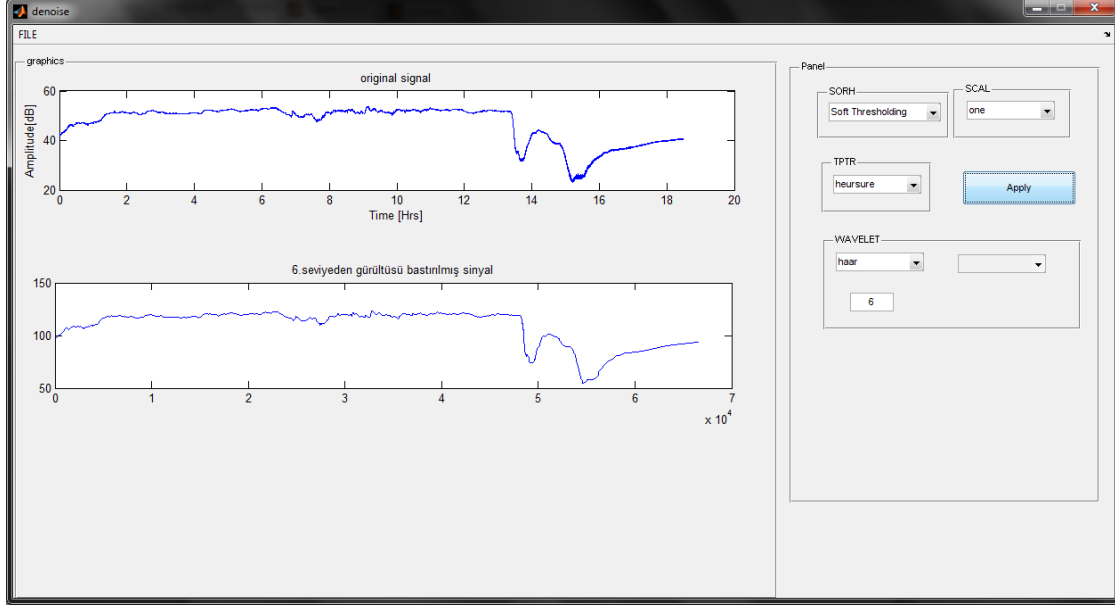


Şekil 5.11 VLF verisinin haar dalgacığı ile 1. seviyeden ayrıştırılması

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te yumuşak eşikleme, heursure eşik seçim kuralı ve one ölçeği kullanılarak haar dalgacığı ile sırasıyla 1 ve 6 seviyeden gürültü bastırılmıştır. Görüldüğü gibi ayrıştırma seviyesi arttırıldıkça gürültünün kaybolduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.12 Yumuşak eşikleme kullanılarak haar dalgacığı ile 1. seviyeden gürültü bastırma



Şekil 5.13 Yumuşak Eşikleme kullanılarak haar dalgacığı ile 6. seviyeden gürültü bastırma

Seçilen yöntem filtreleme tabanlı yöntem ise Şekil 5.14'te gösterilen filtre seçim penceresinden tekrarlı veya tekrarsız filtrelerden hangisinin tasarlanacağına karar verilir. Fırat Üniversitesi Fen Fakültesine kurulmuş olan alıcı sistemi ile elde edilen çok düşük frekanslı VLF verilerinden herhangi biri seçilir. Tasarıma bağlı olarak FIR ve IIR filtre seçimleri yapıldıktan sonra açılan pencerelerde istenen veriler girildikten sonra filtre tasarlanır ve gürültülü veri filtrelendir.

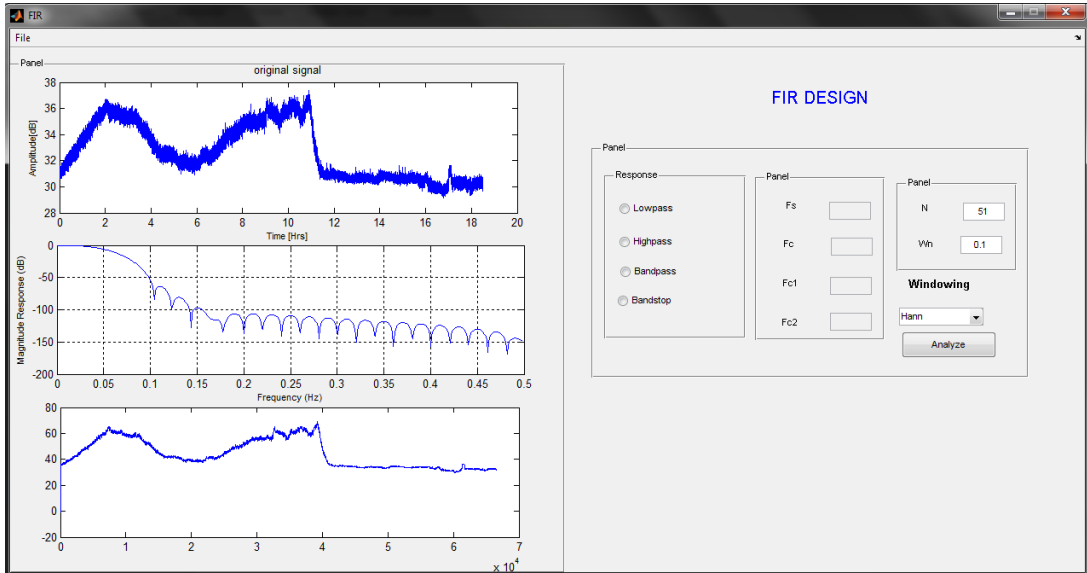


Şekil 5.14 Filtre tercih penceresi

Filtre tasarım penceresinde FIR filtre seçilmesi durumunda Şekil 5.15'teki FIR filtre tasarım penceresi görülür. Burada filtre tepki türü, kesim frekansı, filtre derecesi ve pencere türü seçilir. Arabirimde panel üzerinde orijinal veri, tasarlanan filtre ve gürültüsü bastırılmış veriyi görmek mümkün olacaktır (Şekil 5.16).

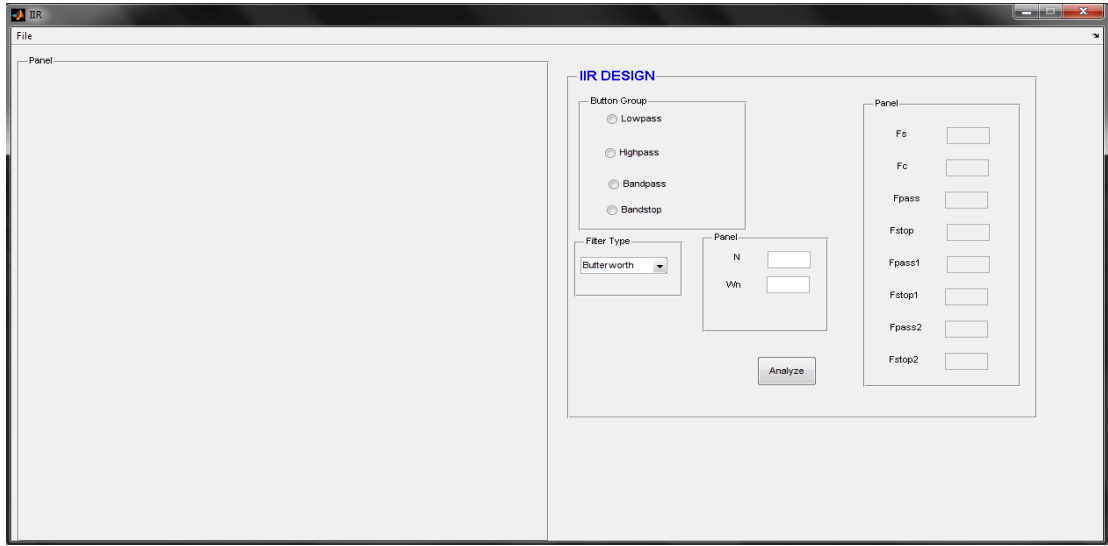


Şekil 5.15 FIR filtre tasarım penceresi



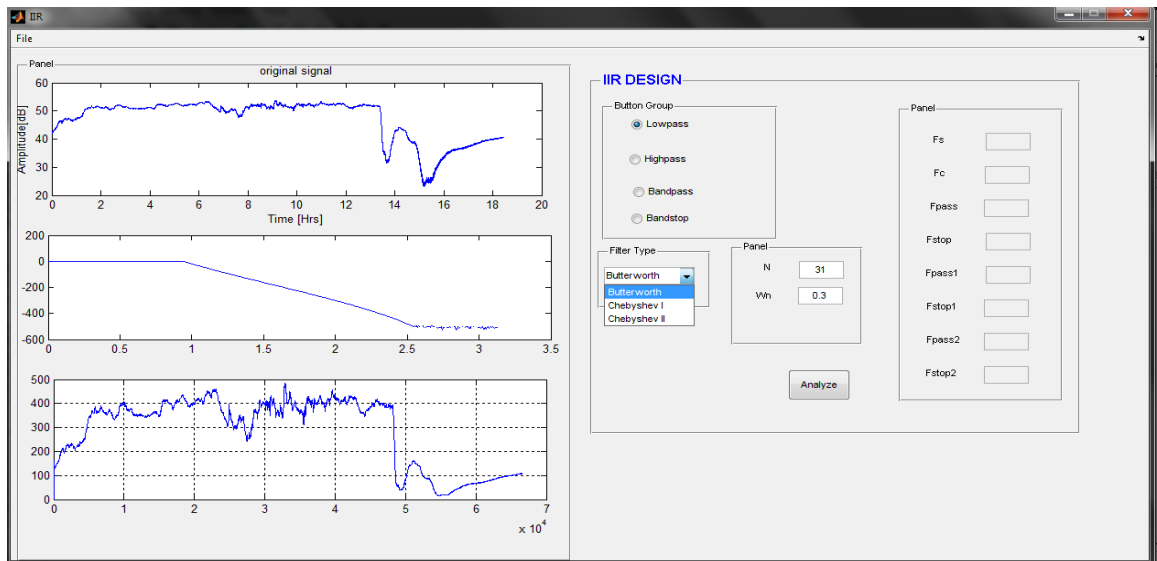
Şekil 5.16 Orijinal veri, tasarlanan fir filtre, gürültüsü bastırılmış veri

Filtre tasarım penceresinde IIR filtre seçilmesi durumunda Şekil 5.17'deki IIR filtre tasarım penceresi görülür. Burada filtre tepki türü, kesim frekansı, filtre derecesi ve filtre türü seçilir. Arabirimde panel üzerinde orijinal veri, tasarlanan filtre ve gürültüsü bastırılmış veriyi görmek mümkün olacaktır.



Şekil 5.17 IIR filtre tasarım penceresi

Şekil 5.18'de aynı veri için kesim frekansı, filtre derecesi ve filtre tepki türü ve filtre türü tercihiyle ilgili olarak gürültülü verinin gürültüsünün bastırıldığını görmek mümkün olmaktadır.



Şekil 5.18 Orijinal veri, tasarlanan IIR filtre, gürültüsü bastırılmış veri

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında dönüşüm tabanlı yöntemler ile filtreleme tabanlı yöntemlerle gürültü bastırma yöntemlerinin anlaşılması hedeflenmiş ve bu yöntemleri bir arada kullanılması amacıyla MATLAB GUI kullanılarak bir ara birim tasarlanmıştır. Tasarlanan arabirimde gürültülü veri olarak Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi'ne kurulu VLF alıcı sistemine kayıtlı VLF verileri kullanılmıştır.

Hem bir arabirim hem de bir program çağrılarını icra ettirme mekanizması olarak çalışan GUI, M-file programlama yöntemi ve MATLAB GUIDE aracı kullanılmak üzere iki şekilde hazırlanabilir. GUI tasarımında kullanılan M-file programlama ile GUI tasarımları ve geribildirim programlarının yazılması tamamen program kodları yazılması gerektirdiğinden bu tez çalışmasında hızlı ve pratik arabirim tasarlamak amacıyla MATLAB GUIDE aracı kullanılmıştır. Bu metotla arabirimde kullanılan nesnelerin kod yazılarak programlanmasına gerek kalmadan nesnelerin özellikleri kolaylıkla değiştirilmiştir.

Arabirimde seçilen dalgacık türü ve seviyesine bağlı olarak veri, alçak ve yüksek geçiren filtre ile filtrelenerek, yaklaşık katsayıları (cA) ve detay katsayılarına (cD) ulaşılır. Böylece seviyeye bağlı olarak mevcut sinyalin analizi yapılır. Seviyenin artışına bağlı olarak verideki gürültünün değiştiği gözlenir. Elde edilen cA ve cD katsayıları sırasıyla sinyalin alçak ve yüksek frekans bileşenlerini ifade etmektedir. cA katsayıları, asıl sinyale ve yüksek frekans bileşenlerini içeren cD sinyallerine göre daha az gürültü içerir. Arabirim, katsayı ayırıştırmasının yanı sıra eşikleme metodu ile gürültü bastırmayı mümkün kılmaktadır. Bu metotla, enerji dalgacık domeninde sınırlı sayıdaki katsayılara yayılmış olup gürültü enerjisi ise tüm katsayılara dağılmıştır. Bundan dolayı dalgacık ayırıştırılmasından sonra, dalgacık dönüşüm katsayıları, gürültü dalgacık katsayılarından daha büyük olur ve sinyal ile gürültü başarıyla birbirinden ayrılır. Tez çalışmasında kullanılan dalgacık dönüşüm tekniği ile arabirimde alınan sonuçlara göre, gürültü bastırma konusunda, yumuşak eşiklemenin, sert eşiklemeye göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiş ve ayırıştırma seviyesinin derecesinin arttıkça tüm dalgacık türleri için gürültü bastırma oranının da arttığı sonucuna varılmıştır.

Tasarlanan arabirimde filtreleme tabanlı yöntemler kullanılarak da tercihe bağı FIR ve IIR filtre tasarımı mümkündür. FIR filtre ile yapılan tasarımlarda filtre derecesinin artışına bağı olarak VLF sinyalindeki gürültünün daha iyi bastırıldığı gözlenmiş ve sabit filtre derecesinde kesim frekansının artmasının gürültü bastırmayı olumsuz etkilediğı sonucuna varılmıştır. Kullanılan pencereleme yöntemlerinden en etkili sonucun blackman penceresi olduğı sonucuna varılmıştır. IIR filtre ile yapılan tasarımlarda ise alınan sonuçların FIR filtre kadar etkili olmasa da gürültü bastırmanın gerçekleştiğı görülmüştür. Ayrıca kullanılan filtreleme tabanlı yöntemler ile sağlanan gürültü bastırmada, alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran filtre tiplerinden en etkili sonuçların kullanılan veriler için alçak geçiren filtre ile sağlanmasından dolayı arabirim alçak geçiren filtre esas alınarak tasarlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Habibi, A.**, 1995. Introduction to Wavelets, Military Communications Conference, MILCOM'95, Conference Record, *IEEE, Aerosp. Corp.*, , **2**, 879-885.
- [2] **Graphs, A.**, 1995. An Intruduction to Wavelets, Official Scientific for Engineering Applications1, Macitosh Conference, Worcester, Mass.
- [3] **Daubechies, I.**, 1988. Orthonormal Bases of Compactly Support Wavelets, *Comm. Pure & Applied Math.*, **41**.
- [4] **Mallet, S.**, 1989. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation, *IEEE Trans. Pattern Analysis& Mchine Int.*, **11**.
- [5] **Mallet, S.**, 1989. Multifrequency Channel Decomposition of Images and Wavelet Models, *IEEE Trans. On Acoustics, Speech, & Signal Processing*, **37**.
- [6] **Strang, G.**, 1989. Wavelets and Dilation Equations: A Brief Introduction, *SIAM Review*, **31(4)**.
- [7] **Mitra, S.K.**, “*Digital Signal Processing A Computer - Based Approach*, 2nd Ed.pp.1, 50-52.
- [8] **Tuncer, G.**, 2006. A Java Toolbox For Wavelet Based Image Denoising, In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree of Master of Science In Geodetic And Geographic Information Technologies.
- [9] **Colestok, M.A.**, 1993. Wavelets-Anew Tool For Signal Processing Analysts, Digital Avionics Systems Conference, 12th DASC., AIAA/IEEE, 54-59.
- [10] **Yue, Y., Jian, Z., Yiliang, W., Fengting, L. and Chenghui., G.**, 1998. Signal Processing Proceedings, ICSP '98. Fourth International Conference on, **1**, 313-316.
- [11] **Yang, F.S.**, 1998. Application and Engineering Analysis Of Wavelet Transform, Tsinghua Press.
- [12] **Jun-Hai, Z. and Su-Fang, Z.**, 2005. Image Denoising Via Wavelet Threshold Single Wavelet And Multiple Wavelets Transform, Machine Learning and Cybernetics, Proceedings of 2005 International Conference on, **5**, 3232-3236.
- [13]FloridaStateUniversity
http://etd.lib.fsu.edu/theses/available/etd11242003185039/unrestricted/09_ds_chapter2.pdf.

- [14] **Ayaz, E.**, 1997. Dalgacıklar ve Elektrik Mühendisliğindeki Uygulamaları, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Akıncı, T.Ç.**, 2005. Dalgacık Tabanlı Koruma Sistemleri Koruma Algoritması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Reza, A.M.**, 1999. Wavelet Characteristics, Spire Lab, UWM.
- [17] **Mallat, S.**, 1998. A wavelet tour of signal processing, Second addition, Academic Press.
- [18] **Steven, T.K.**, *Signals and Systems with MATLAB Applications*, 2nd Ed., pp. 217-220, 235-236, 241-242, 277-280.
- [19] **Coifman, R., Meyer, Y. and Wickerhauser, V.**, 1991. *Wavelet Analysis and Signal Processing In Wavelets and Their Applications*, Ruskai Jones and Bartlet Publishers.
- [20] **Ağoğlu, E.A.**, 2008. Sayısal Filtre Tasarımı ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Oppenheim, A.V. and Schaffer, R.W.**, 1999. *Discrete-Time Signal Processing*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- [22] **Proakis, J.G., and Manolakis, D.G.**, 2007. *Digital Signal Processing, Principles, Algorithms and Applications*, 4th Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [23] **Cooley, J.W., and Tukey, J.W.**, 1965. An Algorithm for the Machine Computation of Complex Fourier Series, *Mathematics of Computation*, **19**, 297-301.
- [24] **Akan A.**, *İşaret İşleme ve Uygulamaları*, İstanbul Üniversitesi.
- [25] **Vatansever, F., Uysal, F., ve Uzun, A.**, 2002. Ayırık Dalgacık Dönüşümü ile Gürültü Süzme, ELECO'2002, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, TÜBİTAK/ Bursa, 18-22 Aralık.
- [26] Wavelet Toolbox.
- [27] **Hongqiao, L. and Shengqian, W.**, 2009. A New Denoising Method Using Wavelet Transform, *Information Technology and Applications*, **1**, 111–114.
- [28] **Dai-Fei, G., Wei-hong, Z., Zhen-ming, G. and Jian-Qiang, Z.**, 2000. A Study of Wavelet Thresholding Denoising”, *Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference on* , **1**, 329–332.
- [29] **Qian, J.**, 2001. Denoising By Wavelet Transform, Department of Electrical Engineering, Rice University.

- [30] **Yan, J., Fang, X. and Huang, P.,** 2002. High Resolution Range Profile Statistical Property Analysis of Radar Target, ICSP'02 Proceedings, 2002.
- [31] **Phinyomark, A., Limsakul, C. and Phukpattaranont, P.,** 2009. An Optimal Wavelet Function Based on Wavelet Denoising for Multifunction Myoelectric Control", Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2009. 6th International Conference on, **1**, 1098 – 1101.
- [32] **Proakis, J.G. and Manolakis, D.G.,** 2007. Digital Signal Processing, Principles, Algorithms and Applications, 3rd Ed., Prentice-Hall, , Upper Saddle River, NJ.
- [33] **Kaya, T. ve Ince, M.C.,** 2011. Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- [34] **Kaya, T. ve Ince, M.C.,** 2010. Pencere Fonksiyonu Aileleri ve Uygulama Alanları, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi **26(3)**, 291-306.
- [35] **Antoniou, A.,** 2005. *Digital Signal Processing: Signal, Systems, and Filters*, McGraw-Hill.
- [36] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.,** 2004. Design of Ultraspherical window functions with prescribed spectral characteristics, EURASIP Journal on Applied Signal Processing, **13**, 2053-2065.
- [37] **Kaiser, J.F. and Schafer, R.W.,** 1980. On the use of the Io-sinh window for spectrum analysis, *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, **28(1)**, 105-107.
- [38] **Kaiser, J.F.,** 1974. Nonrecursive digital filter design using IO-sinh window function" in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS'74), San Francisco, Calif, USA, 20-23.
- [39] **Avci, K., and Nacaroğlu, A.,** 2008. Cosine Hyperbolic Window Family with its Application to FIR Filter Design., Proc. of Third International Conference on Information and Communication Technologies (ICTTA'08). April. Damascus, Syria, 289-290.
- [40] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.,** 2005. Design of Nonrecursive Digital Filters Using the Ultraspherical Window Function, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, **12**, 1910-1922.
- [41] **Jain, A., Saxena, R. and Saxena, S.C.,** 2005. A simple alias-free QMF system with near-perfect reconstruction" *J.Indian Ins.Sci.*, Jan-Feb, **12**, 1-10.
- [42] **Ertürk, S.,** 2004, "Sayısal İşaret İşleme", Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [43] **Kayran, A.H.**, Ekşioğlu E.M., 2004, “*Sayısal İşaret İşleme*”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [44] **Yüksek, A.**, 2006. Adli Ses Kayıtlarının Süzgeç Tasarımı İle İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [45] **Özustaoglu, H.F. ve Nacaroğlu, A.**, 2006. İnsan ile Bilgisayar Arasında Sesli İletişimin İyileştirilmesi, ELECO 2006.
- [46] **Baygün, M.K. ve Yaldır, A.K.**, Linear Predictive Coding ve Dynamic Time Warping Teknikleri Kullanılarak Ses Tanıma Sistemi Geliştirilmesi, Akademik Bilişim Konferansları.
- [47] **Karris, S.T.**, *Signals and Systems with MATLAB Applications*, 2nd Ed., pp. 217-220,235-236,241-242,277-280.
- [48] <http://www.yildiz.edu.tr/~kunal/dsppage.html#>, Sayısal İşaret İşleyiciler ve Uygulamaları.
- [49] **Yavuz, O., Bayram, M. C. ve Yıldırım, T.**, 2007. Chebyshev Filtre Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Hesaplanması, EMO 2007 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi, Eskişehir, 22-25 Eylül.
- [50] **Selesnick, I.W. and Burrus, C.S.**, 1996. Generalized Digital Butterworth Filter Design, Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-96. Conference Proceedings., 1996 IEEE International Conference on, **3**, 1367–1370.
- [51] **Selesnick, I.W. and Burrus, C.S.**, 1998. Generalized Digital Butterworth Filter Design, *IEEE Transactions on Signal Processing*, **46(6)**.
- [52] <http://www.differencebetween.net/science/difference-between-iir-and-fir-filters/>.
- [53] **Johnson, M.P.**, 2000. Vlf Imaging of Lightning-Induced Ionospheric Disturbances, September 2000.
- [54] **Ulaş, M.**, 2011. Vlf Sinyalleri Kullanılarak Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesine Yönelik Algoritma Geliştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [55] “*Radio Communications in the Digital AGE volume one*” *HF Technology*, Haris, 1996.
- [56] **Camalan, M.**, 2004. Radyo Haberleşmesinde İyonosferin Önemi, **305**.
- [57] **Canyılmaz, M.**, 2006. Vlf Yayılımını Kullanarak Yıldırımın Alt İyonküre Üzerine Etkilerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, .Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [58] **Wait, J.R.**, 1964. The relation between VLF propagation and D-layer characteristics, *I.E.E.E. Transactions on Antennas and Propagation*, 239-240.
- [59] **Johnson, M.P., Inan, U.S., Lev-Tov, S.J. and Bell, T.F.**, 1999, "Scattering pattern of lightning induced ionospheric disturbances associated with Early/Fast VLF events" *Geophysical Research Letters*, **26(15)**, 2363-2366.
- [60] **Inan, U.S., Pasko, V.P. and Bell, T.F.**, 1996. Sustained heating of the ionosphere above thunderstorms as evidenced in early/fast VLF events, *Geophysical Research Letters*, **23(10)**, 1067-1070.
- [61] **Rodger, C.J., Wait, J.R. and Dowden, R.L.**, 1998, VLF scattering from red sprites-theory, *J.Atmospheric & Solar-Terrestrial Physics*, **60**, 755-763.
- [62] **Inan, U.S. and Marshall, R.A.**, 2005. High-speed telescopic imaging of sprites, *Geophysical Research Letters*, **32(L05804)**, 1-4.
- [63] **Burgess, W.C. and Inan, U.S.**, 1993, The role of ducted whistlers in the precipitation loss and equilibrium flux of radiation belt electrons, *J.Geophysical Research*, **98(A9)**, 15643-15665.
- [64] **Inan, U.S. and Bell, T.F.**, 1991. Pitch angle scattering of energetic particles by oblique Whistler waves, *Geophysical Research Letters*, **18(1)**, 49-52.
- [65] **Helliwell, R.A., Katsufakis, J.P. and Trimpi, M.L.**, 1973. Whistler-induced amplitude perturbation in VLF propagation, *J. Geophysical Research*, **78(22)**, 4679-4688.
- [66] **Helliwell, R.A.**, 2006. Whistlers and Related Ionospheric Phenomena, Dover Publications
- [67] [http://en.wikipedia.org/wiki/Whistler_\(radio\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Whistler_(radio))
- [68] <http://vlf.stanford.edu/research/automated-detection-whistlers-taranis-spacecraft>.
- [69] **Smith, R.L. and Angerami, J.J.**, 1968. Magnetospheric Properties Deduced from OGO 1 Observations of Ducted and Nonducted Whistlers. *Journal of Geophysical Research*, **73(1)**.
- [70] http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_atmospheric.
- [71] <http://vlf.stanford.edu/research/wavelet-analysis-sferics>.