

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ İŞARET İŞLEME ALGORİTMALARI İLE LAZER MİKROFON
SİSTEMİNDE GÜRÜLTÜNÜN BASTIRILMASI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SONER MÜLAYİM

OCAK 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ İŞARET İŞLEME ALGORİTMALARI İLE LAZER MİKROFON
SİSTEMİNDE GÜRÜLTÜNÜN BASTIRILMASI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Soner MÜLAYİM

DANIŞMAN

: Prof. Dr. Zehra SARAÇ

ZONGULDAK

Ocak 2020

KABUL:

Soner MÜLAYİM tarafından hazırlanan “Çeşitli İşaret İşleme Algoritmaları İle Lazer Mikrofon Sisteminde Gürültünün Bastırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans/~~Doktora~~ Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 28/01/2020

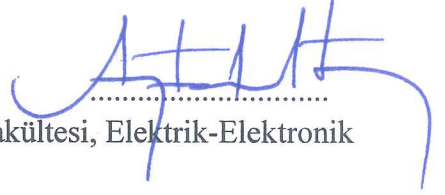
Danışman: Prof.Dr.Zehra SARAÇ

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü



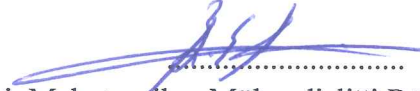
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Aytaç ALTAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü



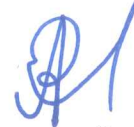
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Batıkan Erdem DEMİR

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2020



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Soner MÜLAYİM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEŞİTLİ İŞARET İŞLEME ALGORİTMALARI İLE LAZER MİKROFON SİSTEMİNDE GÜRÜLTÜNÜN BASTIRILMASI

Soner MÜLAYİM

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Zehra SARAÇ

Ocak 2020, 53 sayfa

Sesi uzak mesafelerden dinlemenin yollarından biri de lazer mikrofonlardır. Lazer mikrofonlar akusto-optik etki ile ışığın ses tarafından modülasyona uğraması prensibine dayalı çalışır. Elde edilen ses dalgasına ait girişim deseninin sayısal işaret işleme algoritmaları kullanılarak işlenmesi ile yeniden oluşturulan sesin düşük düzeyde gürültüye sahip olması oldukça önemlidir. Bu çalışmada gürültünün indirgenmesi sonucunda yeniden oluşturulan ses dalgası kullanılarak elde edilen sistemin SNR değerinin yüksek bir değere sahip olması için bu tezde farklı işaret işleme algoritmaları ve filtreleme tekniği önerilmiştir. Burada ses dalgasının dinlendiği lazer mikrofon sistemi “Michelson İnterferometresine” dayalıdır. Kullanılan işaret işleme algoritmaları: Fourier, Stockwell, Hilbert ve Sürekli Dalgacık Dönüşümleri ile oluşturulmuştur. Ters Filtreleme (Inverse Filtering) sadece Hilbert dönüşümüne dayalı işaret işleme uygulamasından sonra kullanılmıştır. Çünkü diğer işaret

ÖZET (devam ediyor)

işleme algoritmalarının yapılarında kendi filtreleri bulunmaktadır. Ayrıca bu ters filtrenin performansını arttırmak için gamma tresholding de kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazer mikrofon, Michelson interferometresi, Hızlı Fourier dönüşümü, Hilbert dönüşümü, Stockwell dönüşümü, Sürekli Dalgacık Dönüşümü, Ters Filtreleme Tekniği.

Bilim Kodu: 608.04.08 Optik Bilgi İşleme (Bilim Dalı)



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SUPPRESSING NOISE IN LASER MICROPHONE SYSTEM WITH VARIOUS SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS

Soner MÜLAYİM

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronics Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Zehra SARAÇ

January 2020, 53 pages

One way to listen to sound from long distances is through laser microphones. Laser microphones work on the principle of modulation of light by sound with acousto-optical effect. It is very important that the reproduced sound has a low level of noise by processing the interference pattern of the obtained sound wave using digital signal processing algorithms. In this study, different signal processing algorithms and filtering techniques are proposed in this thesis in order to have a high value of SNR of the system which is obtained by using sound wave which is reconstructed as a result of noise reduction. The laser microphone system where the sound wave is listened to is based on the Michelson interferometer. The signal processing algorithms used are: Fourier, Stockwell, Hilbert and Continuous Wavelet Transforms. Reverse Filtering was used only after signal processing based on the Hilbert transform. Because other signal processing algorithms have their own filters.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Laser microphone, Michelson interferometer, Fast Fourier transform, Hilbert transform, Stockwell transform, Continuous wavelet transform, Reverse Filtering Technique.

Science Code: 608.04.08 Optik Bilgi İşleme (Bilim Dalı)



TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamda laboratuvarda bir lazer mikrofon oluőturdum. Bu laboratuvar imkânını bana sağlayan Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'ne, çalıőmam sırasında desteklerini ve hiçbir imkânı bizlerden esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Zehra SARAÇ 'a, en içten teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvarda bizlere yardımcı olan Araőtırma Görevlisi Gülhan USTABAŐ KAYA'ya, ve bana maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme teőekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 IŞIK	5
2.2 KIRINIM.....	8
2.3 POLARİZASYON	9
2.4 GİRİŞİM.....	9
2.5 LAZER IŞIĞI.....	11
2.5.1 Yayınım.....	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.6 MODÜLASYON	12
2.7 AKUSTO- OPTİK ETKİ	13
2.8 İNTERFEROMETRE (GİRİŞİM ÖLÇER)	14
2.8.1 Michelson İnterferometresi	14
2.9 SİNYAL/ GÜRÜLTÜ ORANI (Signal Noise Ratio-SNR)	15
BÖLÜM 3 LAZER MİKROFON SİSTEMİ.....	17
3.1 LAZER MİKROFON SİSTEMİ	17
3.2 LAZER MİKROFON SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN GİRİŞİM DESENLERİNDEN ÖRNEKLER	19
BÖLÜM 4 SİNYAL İŞLEME ALGORİTMALARI VE TERS FİLTRELEME TEKNİĞİ ...	21
4.1 SİA'LAR VE MATEMATİKSEL TEORİLERİ.....	21
BÖLÜM 5 LAZER MİKROFON SİSTEMİNİN YAZILIM KISMINDA KULLANILAN SİA'LAR İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	35
5.1 FOURİER DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	36
5.2 HİLBERT DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA + TERS FİLTRELEME TEKNİĞİ+ GAMMA THRESHOLDİNG -(1D) KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR	37

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.3 STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR	38
5.4 SÜREKLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR	39
5.5 SİA'LARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	44
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİ	45
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Huygens Prensibi.	6
Şekil 2.2 Elektromanyetik dalga.	6
Şekil 2.3 Thomas Young çift yarık deneyi.	7
Şekil 2.4 Tek yarıқта kırınım deneyi.	8
Şekil 2.5 (Y) yönünde titreşen ve (Z) yönünde yayılan bir düzlemsel kutuplu bir dalga.	9
Şekil 2.6 (a) yapıcı girişim, (b) yıkıcı girişim.	11
Şekil 2.7 Kendiliğinden emisyon.	12
Şekil 2.8 Uyarılmış emisyon.	12
Şekil 2.9 Modülasyon İşlemi.	13
Şekil 2.10 Lazer Mikrofonun temeli olan Michelson İnterferometresi.	15
Şekil 3.1 Michelson İnterferometresini Temel Alan Lazer Mikrofon	18
Şekil 3.2 Tezde Kullanılan Lazer Mikrofon Sistemi.....	18
Şekil 3.3 Lazer Mikrofon sisteminden elde edilen 6000 adet işaretden (girişim deseninden) alınan örnekler.....	19
Şekil 4.1 Hızlı Fourier Dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni.....	22
Şekil 4.2 Hilbert Dönüşümüne dayalı dayalı SİA kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni	23
Şekil 4.3 Stockwell Dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	25
Şekil 4.4 Karmaşık Morlet Dalgacığı için örnek.....	26
Şekil 4.5 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA cmor dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	27
Şekil 4.6 Karmaşık Gaussian Dalgacığı için örnek.....	28
Şekil 4.7 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA cgau dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	29
Şekil 4.8 Gaussian Dalgacığı için bir örnek.	30
Şekil 4.9 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA gau dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	30
Şekil 4.10 Karmaşık Frekans B-spline Dalgacığı için örnek. fbsp dalgacığının reel ve imajiner kısımları bu şekilde verilmektedir.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.11 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA fbsp dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	32
Şekil 4.12 Mexican Hat Dalgacığı için bir örnek.	33
Şekil 4.13 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA mexh dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı.....	33
Şekil 4.14 Tüm SIA'ların kullanıldığı sistemin yazılım akış diyagramı.	34
Şekil 5.1 Lazer mikrofona dinlemek için başlangıçta verilen "referans ses" 'Deneme 1' için faz-zaman grafiğı (elektriksel işaret).	35
Şekil 5.2 Fourier dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).	36
Şekil 5.3 Hilbert Dönüşümüne Dayalı SIA + Ters Filtreleme Tekniğı+ Gamma Thresholding kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı) Grafiğı.	37
Şekil 5.4 Stockwell dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).	38
Şekil 5.5 'cmor' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).	39
Şekil 5.6 'cgau' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).....	40
Şekil 5.7 'gau' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).....	41
Şekil 5.8 'fbsp' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).....	42
Şekil 5.9 'mexh' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

No

Sayfa

Tablo 5.1 Sinyal işleme algoritmalarının SNR bazında performans kıyaslaması..... 44





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

E	: Elektrik alan
H	: Manyetik alan
E_0	: Dalganın genliği
ω	: Açısal frekansı ($\omega = 2\pi f$),
k	: Dalga katsayısını ($k = 2\pi / \lambda$)
λ	: Dalga boyu
φ	: Faz sabitini
v	: Elektromanyetik dalgaların bos uzayda görülen hızı
ϵ	: Dielektrik sabiti
I	: Işıma şiddeti
\Re	: Karmaşık sayının gerçel kısmı
\Im	: Karmaşık sayının sanal kısmı
P	: Ses basıncı
n_0	: Statik koşullar altında kırılma indisi
$r(x,y,z)$: 3 boyutlu öklid uzayının konumu
t	: zaman
L	: optik yol
E_h	: Statik alanda yayılan ışık
I_n	: n. adımdaki ışık şiddeti
a	: arka plan ışığı
b	: modülasyon ışığı
ψ	:psi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

BEÜ	: Bülent Ecevit Üniversitesi
cgau	: Complex Gaussian
cgau	: Complex Gaussian
CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken)
cmor	: Morlet Wavelet
CWT	: Continuous Wavelet Transform(Sürekli Dalgacık Dönüşümü)
FFT	: Fast Fourier Transform(Hızlı Fourier Dönüşümü)
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
fbsp	: Frequency Biorpline
İFFT	: İnverse Fast Fourier Transform(Ters Hızlı Fourier Dönüşümü)
İF	: İnverse Filter
mexh	: Mexican Hat
SNR	: Signal to Noise Ratio(Sinyal/Gürültü Oranı)
ST	: Stockwell Transform(Stockwell Dönüşümü)
SİA	: Sinyal İşleme Algoritması

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan mikrofonlar ses dalgalarına maruz kalan fiziksel bir diyafram kullanmakta ve bu diyaframdan elde edilen titreşimleri amplifikatörler ile yükselterek elektrik sinyallerine dönüştürmektedir. Bu titreşimler; kapasitansa bağlı bir diyafram ya da endüktöre bağlı bir diyafram vasıtasıyla çeşitli şekillerde elde edilir. Ancak sonlu kütleyle sahip bir fiziksel diyafram ile ses elektrik sinyallerine dönüştürüldüğünde diyaframın fiziksel özelliklerinden dolayı mekanik rezonanslar ve duran dalgalar gibi elektrik sinyallerini etkileyen faktörler ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bu tezde gerçekleştirilmiş olan lazer mikrofon sisteminde ise, ses basıncı bir lazer ışık dalgasını modülasyona uğratmaktadır. Diğer bir deyişle akusto-optik etki meydana gelmektedir. Bu sayede fiziksel bir diyaframın beraberinde getirmiş olduğu mekanik rezonans ile oluşan duran dalga sorunu ortadan kalkmaktadır. Lazer Mikrofon ile dinlenen elektrik sinyali (ses dalgası) ile başlangıçta hoparlöre dinlemek için verilen referans ses dalgası arasındaki korelasyon yüksek derecede doğruluk göstermektedir. Lazer mikrofon sistemi temelde iki kısımdan oluşmaktadır: 1- Donanım 2-Yazılım.

Lazer Mikrofon donanımsal olarak ilk defa aşağıda verilen patent çalışmaları ile ortaya konulmuştur: Ralph P.Muscatell, Ekim 1984'de "Laser Microphone" adlı patent aldığı çalışmasında kapalı bir kutu içerisinde yaptığı bir tasarım ile ses dalgasını optik sistemden geri elde etmiş ve dinlemeyi başarmıştır [1]. Daha sonra Kasım 2000'de James T.Veligdan "Laser Microphone" adlı yaptığı çalışmada, bir lazer ışını üretmek için bir çift birinci ve ikinci ayna arasında koaksiyel olarak hizalanmış bir lazer kazanım malzemesine sahip bir lazer rezonatör içeren bir sistem ile ses basıncını algılayan bir mikrofon yaparak ses dalgasını duymayı denemiş ve bu çalışmadan bir patent elde etmiştir [2]. Son olarak Ekim 2001'de John R.Specialle "Laser Microphone" adlı patent aldığı çalışmada ise darbeli lazer ile mikrofon diyaframından yansıyan ses dalgasını optik sistem ile dinleyebilmiştir [3]. Bu çalışmada amacımız donanımsal bir yenilik getirmek değildir.

Bu tezin amacı sistemin yazılım kısmında elde edilen işaretlerden (girişim desenleri) farklı sinyal işleme algoritmaları (SİA'lar) ile faz bilgisi elde ederek ses dalgasını yeniden oluşturmak ve en yüksek sinyal/gürültü oranını (Signal Noise Ratio-SNR) hangi SİA'nın sonuçlarının verdiği tespit etmektir. Bu kapsamda kullanılan sinyal işleme algoritmaları (SİA'lar) sırası ile Fourier Dönüşümüne [4], Hilbert Dönüşümüne [5], Stockwell Dönüşümüne [6], Sürekli Dalgacık Dönüşümüne [7] dayalı olarak oluşturulmuşlardır. Ayrıca Ters Filtreleme tekniği de sadece Hilbert dönüşümüne dayalı olan işaret işleme algoritmasından sonra kullanılmıştır [8].

Şimdiye kadar literatürde yapılan çalışmalarda lazer mikrofondan elde edilen işaretleri değerlendirmek için birkaç SİA kullanılmıştır. Bunlara örnek olarak, Fourier ve sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA'lar verilebilir [9-20]. Ancak Stockwell ve Hilbert dönüşümüne dayalı SİA 'lar ilk defa bu çalışmada lazer mikrofon sisteminin yazılım kısmında kullanılmıştır. Dolayısıyla tüm SİA'lar ile elde edilen sonuçların sistemdeki gürültüyü bastırma kabiliyeti test edilmiştir. Bu test için sistemin SNR parametresi her SİA ile elde edilen sonuçlardan bulunarak karşılaştırılmış ve en iyi SNR değerini veren SİA tespit edilmiştir. Sonuçta Hilbert dönüşümüne dayalı SİA ve ters filtreleme tekniği ile elde edilen sonuçların en iyi SNR değerini verdiği görülmüştür. Bu çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir

- Bölüm 1'de genel bir giriş verilmektedir.
- Bölüm 2'de ise lazer mikrofonun ışık ile çalışıldığı düşünülerek "ışık" ile başlayarak sistemin bütününe doğru detaylı temel bilgiler sunulmaktadır.
- Bölüm 3'te bu tezde kullanılan lazer mikrofon sistemi (donanımsal olarak) ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgiler yer alacaktır.
- Bölüm 4'te sistemin yazılım kısmında kullanılan SİA'ların arkasındaki matematiksel teori yer almaktadır. Ayrıca lazer mikrofon sisteminden elde edilen işaretlerin (ses girişim desenlerinin) her bir SİA ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen sonuçlar(zamansal faz dağılımları yani ses dalgaları) sunulmaktadır.
- Bölüm 5'te ise sonuç ve öneriler yer almaktadır. Bu bölümde tüm SİA'ların verdiği sonuçlar ile elde edilen SNR değerleri bir tablo halinde verilerek karşılaştırma işlemi yapılmaktadır.

Bölüm 2'de verilen bilgiler:

- Hecht Optik (2005) [21] ,
- J Wilson-JFB Hawkes Optoelektronik (1998) [22]

- Francis A.Jenkins-Harvey E.White Fundamentals Of Optics(Fourth Edition) ([23]) kitaplarından alınan bilgiler doğrultusunda yazılmıştır. Bu yüzden bahsi geçen bölümde satır sonunda referans verilmemiştir.





BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Işığın girişim (interferenece) özelliğinden faydalanılarak mesafe ölçümü, cisim yüzeylerindeki çatlakların tespiti, maddelerin kırılma indislerindeki değişim ve bu değişime sebep olan faktörlerin tespitinin yanısıra sesin ortamdan elde edilebilmesi gibi birçok çalışmalar yapılmaktadır.

Çalışmamızda ses dalgasının optik sistem ile uzaklardan kayıt edilmesi ve dinlenilmesine olanak sağlayan girişim özelliğinden faydalanılmıştır. Burada akusto-optik etki denilen ses-ışık etkileşiminden faydalanılmıştır. Ses dalgasının bir madde ile etkileşimi yerine doğrudan ışık dalgası ile etkileşmesi ve böylece klasik mikrofonun meydana getirdiği mekanik gürültülerin ortadan kalkması söz konusudur.

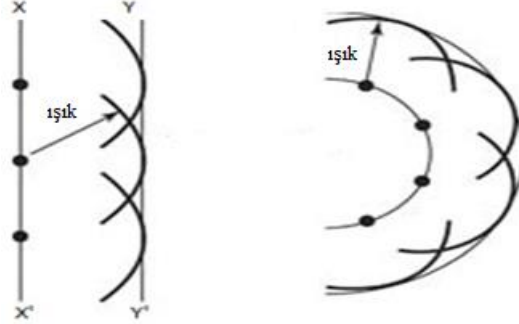
Optik sistemde girişim ile oluşturulan işaretlerin SİA'ları kullanarak analiz edilmesi ile kayıt edilen ses yeniden dinlenilebilir. Bu kapsamda çalışmada Hızlı Fourier Dönüşümüne (FFT), Stockwell Dönüşümüne (ST), Sürekli Dalgacık Dönüşümüne (CWT) ve Hilbert Dönüşümüne (HT) dayalı SİA'lar kullanılmıştır. Ayrıca Ters Filtreleme(IF) Tekniği de sadece Hilbert dönüşümüne dayalı SİA ile kullanılmıştır. Çünkü diğer SİA'lar ile bu filtreleme tekniği sistemin SNR değerinin %50'nin altına inmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle bu SİA'larda ters filtreleme tekniği uygulanmamıştır.

Çalışmamızın amacı bu SİA'lar ile elde edilen sonuçları kullanarak sistemin sinyal /gürültü oranlarını (Signal Noise Ratio- SNR) hesaplamaktır. Bu parametreler kullanılarak, sistemin yazılım kısmında hangi SİA'nın daha iyi bir performans gösterdiği ve sistemdeki gürültüyü bastırmada etkili olduğunu ortaya koymaktır.

2.1 IŞIK

Işık, enerji değişiminin gerçekleştiği durumlarda parçacık diğer bir deyişle foton doğasına hâkimdir. Bu durum 17.yy'da Newton tarafından ortaya atılan 'tanecik' teorisine dayanmaktadır. Ayrıca ışık, girişim ve kırınım olaylarının gerçekleştiği durumlarda ise dalga doğasına hâkimdir ve bu da 17.yy'da Hooke ve Huygens tarafından ortaya atılan 'dalga'

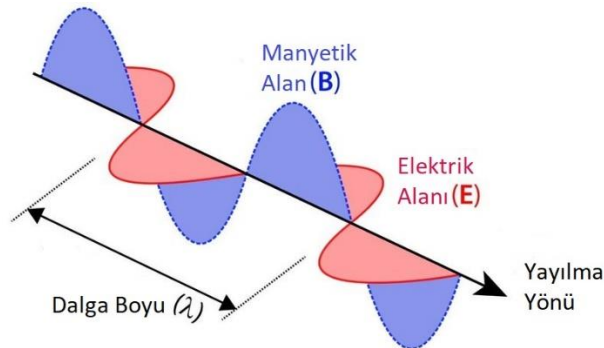
teorisine dayanmaktadır. Bu iki ‘tanecik’ ve ‘dalga’ teorileri birbirlerini destekleyen teorilerdir. Huygens tarafından ortaya atılan teori ışığın yapısının dalga şeklinde olduğu, yayılımının küçük dalga küreleri şeklinde olduğu ve dalga cephelerinin birleşmesi ile yeni dalgalar oluştuğuydu.



Şekil 2.1 Huygens Prensibi.

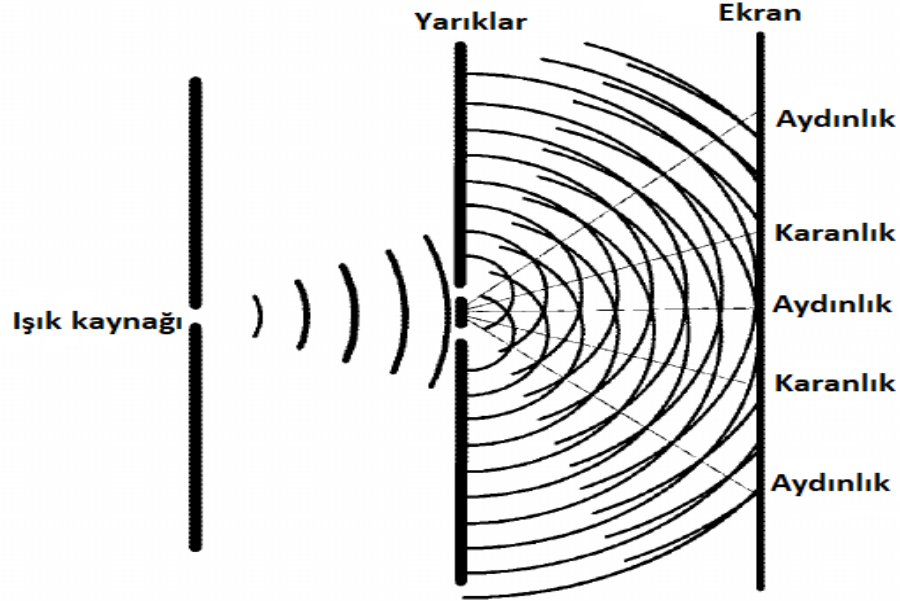
Şekil 2.1’de sol tarafta doğrusal bir dalga, sağ tarafta ise küresel bir dalga görülmektedir. Buna göre Şekil 2.1’de XX’ düzlemi arasında bulunan dalga üzerindeki 3 nokta t kadar bir süre sonra YY’ düzlemindeki şekli alır. Huygens ortaya koyduğu bu prensibi şu şekilde ifade etmiştir: “Verilen bir dalga cephesindeki tüm noktalar, dalgacıklar olarak adlandırılan küresel, ikincil dalgaları oluşturan birer noktasal kaynak olarak görev yaparlar. Bu noktalar, söz konusu ortamdaki dalgaların karakteristiği olan hızlarda dışa doğru yayılırlar. Belirli bir süre sonunda m dalga cephesinin yeni konumu, dalgacıkların yüzey teğeti olur” [24].

Peki “ışık nedir” sorusuna tanımsal bir cevap verecek olursak, ışık elektromanyetik bir dalgadır diyebiliriz. Ancak sıradan bir elektromanyetik dalgadan farklı olarak uzay zamanla değişmekte olan elektrik ve manyetik alanların birleşimidir. Bu elektromanyetik dalga içerisindeki manyetik ile elektrik alanları birbirlerine ve ilerleme yönlerine dik olarak titreşirler.



Şekil 2.2 Elektromanyetik dalga.

1801'deki "Çift Yarık Deneyi" ile Thomas Young ışığın elektromanyetik bir dalga olduğunu ispat etmiştir. Buna göre üzerinde 2 adet yarık bulunan bir plakaya ışık gönderilecek ve eğer ki Newtonun 'tanecik teorisi' doğruysa ekranın yarıkların karşısındaki kısımları aydınlık diğer kısımlar ise karanlık kalacaktı. Ancak bunun yerine çeşitli farklılıklarda birbiri ardına oluşan karanlık ve aydınlık bölgeler gözlemlendi. Bu durum aslında Hyugens'in dalga teorisini doğrulamaktaydı. Ayrıca oluşan karanlık-aydınlık şeklindeki desene bugün "girişim deseni" adı verilmektedir.



Şekil 2.3 Thomas Young çift yarık deneyi.

Diğer bir ifade ile ışık "enine" dalgalar şeklinde yayılmaktadır. Işık dalga şeklinde yayıldığı için dalgaların özelliklerine sahiptir yani ;

- Bir salınım hareketi olmakla beraber uzay zamanda enerjisini bir yere taşımaktadır.
- Belirli bir dalga boyuna sahiptir. Dalga boyu ise iki dalga tepesi arasındaki uzaklığı ifade eden ve λ ile gösterilen bir değerdir.
- Belirli bir frekansa sahiptir. Frekans ise birim saniyedeki titreşim sayısıdır.
- Belirli bir periyota sahiptir. Periyot ise ilerlemekte olan dalganın bir dalga boyu kadar mesafeyi alması için gereken süredir. Ayrıca frekans ve periyot arasında $T=1/f$ şeklinde bir ilişki vardır.
- Değişken bir hıza sahiptir. Bu değişkenlik; ortam özellikleri, frekans, periyot gibi farklı parametrelere bağlıdır ve bunlar arasında şu şekilde bir ilişki vardır ;

$$f * \lambda = V \text{ ya da } f = V/\lambda \quad (2.1)$$

f, zamansal frekansı, λ dalga boyunu, V ışık hızını ifade etmektedir.

- Hızındaki değişim, dalga boyuna etki etmektedir. Ancak frekans sabittir ve bunun sebebi enerjinin korunumu yasasıdır.

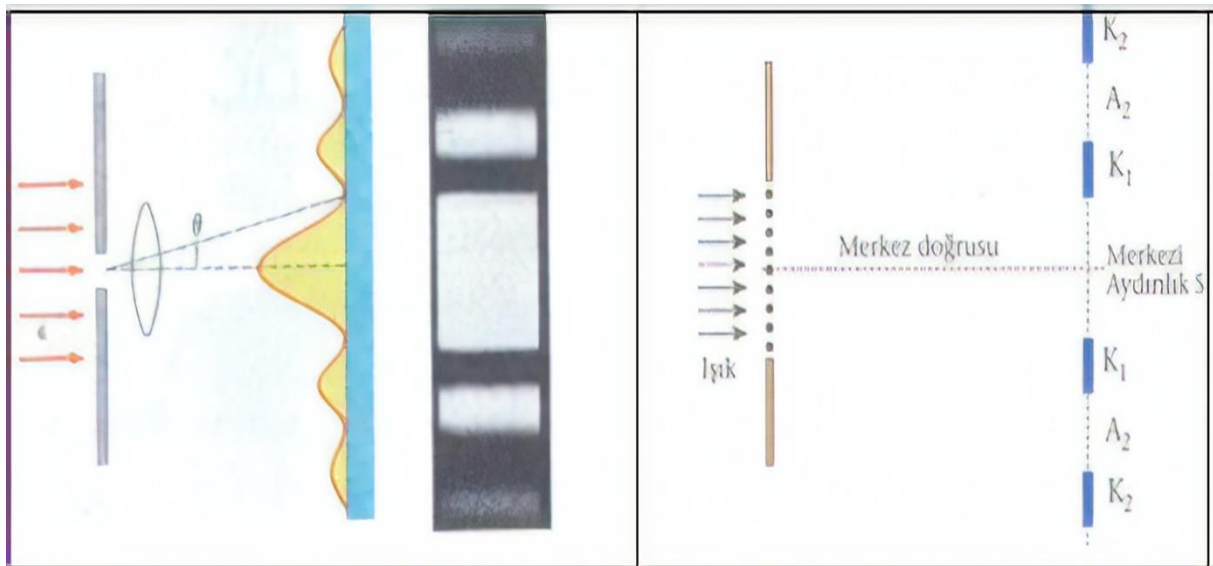
Elektromanyetik dalgalar içerisinde en basit olanları düzlem dalgalarıdır ve matematiksel olarak düzlem dalga'nın elektriksel alanı eşitlik (2.2)'de ifade edilir :

$$E(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de, x noktasındaki t anında elektrik alanı olan E 'yi, E_0 dalga'nın başlangıç genliğini, ω zamansal açısal frekansı ($\omega = 2\pi f$), k dalga yayılım katsayısını ($k = 2\pi/\lambda$) ve φ faz sabitini ifade etmektedir. Ayrıca dalga'nın fazını veren ifade ($\omega t - kx + \varphi$) dir.

2.2 KIRINIM

Thomas Young tarafından yapılmış olan çift yarık deneyinde önceden bahsettiğimiz gibi düz bir beyaz bölge yerine birbiri ardına oluşan aydınlık-karanlık deseni oluşmaktadır. Enine dalga olarak ilerleyen ışık, üzerinde bir pinhole (iğne deliği) olan engele çarptığında artık kaynak o delikmiş gibi yayılır. Kullanılan ışığın dalga boyu değiştikçe ekranda oluşan aydınlık-karanlık desen de değişir. Şekil 2.4'te oluşan aydınlık bölgeler "yapıcı girişimi", karanlık bölgeler ise "yıkıcı girişimi" göstermektedir.



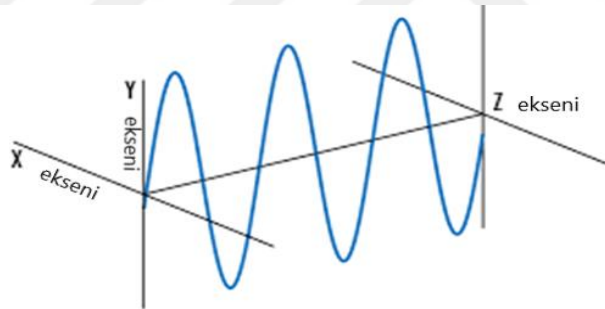
Şekil 2.4 Tek yarıktaki kırınım deneyi.

2.3 POLARİZASYON

Polarizasyon yani kutuplanma sadece enine dalgalarda gerçekleşebilmektedir. Sıradan bir ışık kaynağının(akkor lamba yada mum gibi) yani polarize edilmemiş bir ışık kaynağının ışık ışınları, kaynağın atomları tarafından yayınlanan çok sayıda dalgadan oluşmaktadır. Her bir atomun ürettiği belirli bir yönü olan dalgaların belirli bir elektrik alan vektörü olmaktadır. Ancak bileşke elektromanyetik dalga bu farklı vektörlere sahip titreşen dalgaların üst üste binmesiyle oluşmaktadır. Dolayısıyla bu şekilde bir kaynaktan yayılan ışık dalgaları her yönde titreşen ve tüm elektrik alan vektörlerinin bileşeni olan dalgalardır.

Peki ışığın hangi yönde kutuplandığını nasıl söyleyebiliriz? Bu sorunun cevabı elektrik alan vektörünün titreştiği yönün kabul edilmesi şeklinde olacaktır. Sıradan ışık kaynaklarına kutuplanmamış ya da rastgele kutuplanmış ışık kaynakları da denilmektedir.

Uzayda belirli bir alanda hep aynı yöne titreşen bir elektrik alanı vektörü, çizgisel yada diğer bir adıyla lineer kutuplanmayı vermektedir. Şekil 2.5'te gösterilen bu kutuplanma bir düzlem üzerinde ifade edilir ve bu düzleme “kutuplanma düzlemi” adı verilmektedir. Bu düzlemin bileşenleri elektrik alanın titreşim ve yayılma doğrultusudur.



Şekil 2.5 (Y) yönünde titreşen ve (Z) yönünde yayılan bir düzlemsel kutuplu bir dalga.

Kutuplanmamış bir kaynaktan kutuplanmış dalga elde edilebilir. Bunun için dört farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar yayılma, yansıma, dağılma ve çift kırılmadır. Günümüzde polarizasyon filtreleri ile belirli açıdaki ışık ışınlarının geçişi sağlanarak o açıda ilerleyen bir polarize ışık elde edilmektedir.

2.4 GİRİŞİM

Young deneyinde bahsi geçen “yapıcı” ve “yıkıcı” girişimler aslında aynı genlik ve frekanstaki dalgaların birbirlerinin üzerine binmesi ya da sönümlenmesidir. Üst üste binme ilkesine göre açıklanabilen bu durum, “iki veya daha fazla sayıdaki sinüsoidal dalganın

birlikte hareketi sebebiyle belirli bir zaman ve noktadaki elektrik alanı, tek tek dalgaların elektrik alanı toplamıdır” şeklinde ifade edilebilir. Ve matematiksel ifadesi

$$E_0 = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N \quad (2.3)$$

Burada $E_1, E_2, E_3, \dots, E_N$ belirli bir noktada ve zamanda her bir bireysel dalgaya ait olan elektriksel alanlardır.

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t - kx + \varphi_1) \quad (2.4)$$

$$E_3 = E_{03} \sin(\omega t - kx + \varphi_3) \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.4) ve Eşitlik (2.5) frekansları ve ilerleme yönleri aynı olan dalgalar olduğunu kabul edelim. Bu iki dalganın toplamını veren ifade Eşitlik (2.5)’teki gibidir:

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{03}^2 + 2 E_{01} E_{03} \cos(\varphi_1 + \varphi_3) \quad (2.6)$$

Genel anlamda bir ifade ile gösterecek olursak , N sayıda dalga için:

$$E_0^2 = \sum_{i=1}^N E_{0i}^2 + 2 \sum_{j>1}^N \sum_{i=1}^N E_{0i} E_{0j} \cos(\varphi_i - \varphi_j) \quad (2.7)$$

buradaki i ve j ifadeleri matematikteki toplam işleminin indis değerleri şeklindedir.

Homojen ve doğrusal izotropik bir dielektrikte bulunan ışımaya şiddeti

$$I = \epsilon v E_0^2 \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada v boş uzaydaki elektromanyetik dalgaların hızını, ϵ ise dielektrik sabitini ifade etmektedir.

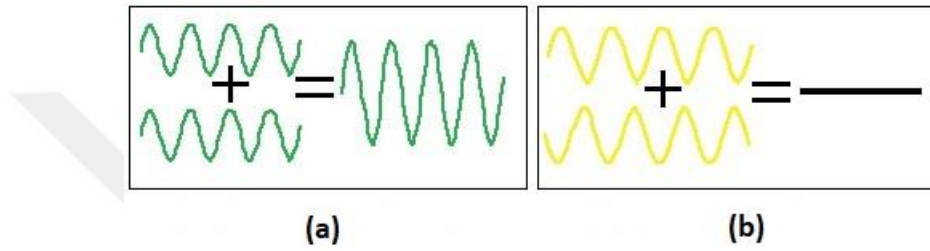
Çalışma konusu aynı ortamdaki bağıl ışımaya bağlı olduğundan , sabitleri basitçe ihmal ederek ($I = E_0^2$) denklem (2.4) ve (2.5)’deki dalgaların belirli bir noktada meydana getirdiği ışımaya şiddeti toplamını yeniden düzenleyerek ;

$$I = I_1 + I_3 + 2 \sqrt{I_1 I_3} \cos(\varphi) \quad (2.9)$$

$$\varphi = \varphi_3 - \varphi_1 \quad (2.10)$$

elde ederiz.

Denklem (2.9) girişim (interference) eşitliğidir. Burada $2\sqrt{I_1 I_3} \cos(\varphi)$ ifadesi girişim terimini belirtmektedir. Yapıcı ya da yıkıcı girişim olması φ 'nin aldığı değere bağlıdır. Yani $\varphi = 2\pi m$ ise ışınım şiddeti maksimum değerde olur ki bu durum yapıcı girişim (constructive interference) olarak adlandırdığımız girişimdir. Ancak $\varphi = (2m + 1)\pi$ değerini alırsa ışınım şiddeti minimum değerde olur ve bu durumda yıkıcı girişim (destructive interference) olarak adlandırılan girişimdir. Ayrıca girişimin iyi olması için dalgalar koherent (eş fazlı) ve monokromatik (tek renkli) olmalıdır.



Şekil 2.6 (a) Yapıcı girişim, (b) Yıkıcı girişim.

2.5 LAZER IŞIĞI

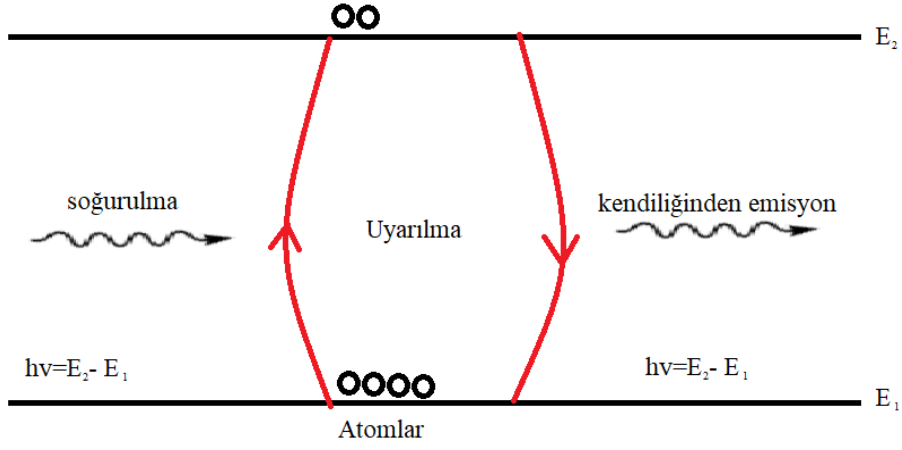
Girişim şartlarındaki eşfazlı ve monokromatik ışık olarak günümüzde lazer ışığı kullanılmaktadır. Lazer ışık kaynağı uyarılmış emisyon (foton salma) ile çalışan bir ışık kaynağıdır.

2.5.1 Yayınım

Bir elektron üst enerji seviyesinden alt enerji seviyelerine geçerken foton ve fonon yayarlar. Fotonlar lazer ışığıdır, fononlar ise ısı enerjisidir. Yayınım iki şekilde gerçekleşir; bunlardan biri kendiliğinden yayınım, diğeri ise uyarılmış yayınımdır.

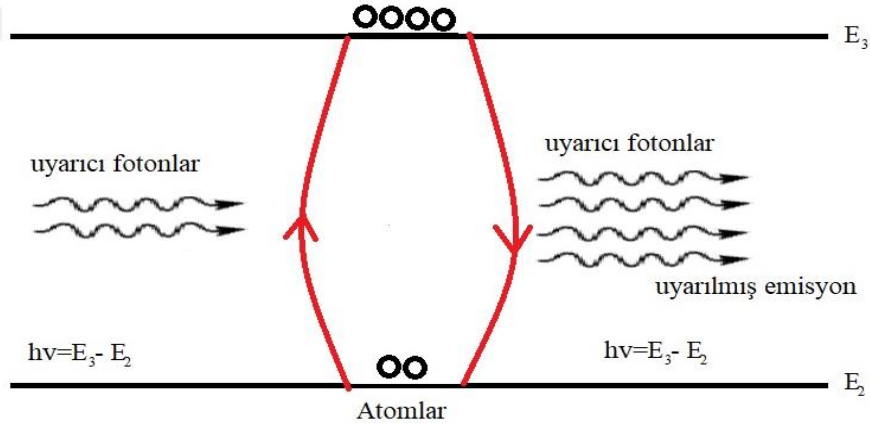
Kendiliğinden yayınım: Bir elektron dışarıdan enerji alarak bir üst enerji seviyesine çıkabilir. Çıktığı bu üst enerji seviyesinde 10^{-8} saniye durduktan sonra tekrar başlangıç durumuna dönen elektronun bu olay sırasında yaydığı foton salınımına kendiliğinden emisyon denilmektedir. Bu işlem sırasında genlikleri X olan n tane foton salınmış ise salınan ışık dalgalarının toplam ışık şiddeti :

$$I = X^2 + X^2 + X^2 + \dots nX^2 \quad (2.11)$$



Şekil 2.7 Kendiliğinden emisyon.

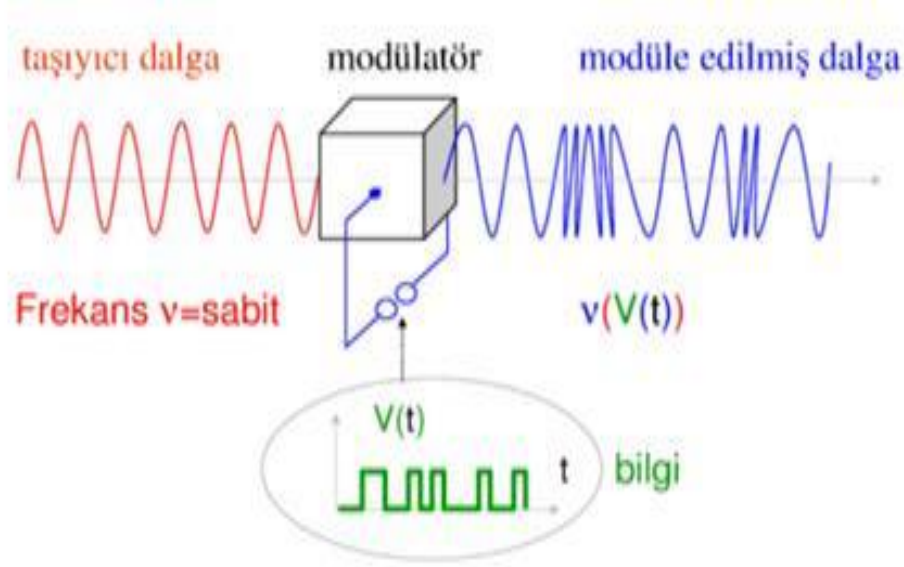
uyarılmış yayınım : belirli bir frekanstaki fotonun ,uyarılmış bir atom ile etkileşime girerek üst enerji seviyesindeki bir elektronu bir alt enerji seviyeye geçirtmesi durumuna uyarılmış emisyon denilmektedir. Serbest bırakılan bu enerji elektromanyetik alana aktarılmaktadır ki bu , uyarım yapan foton ile aynı faz, frekans, polarizasyon ve hareket yönünde oluşan yeni foton demektir.



Şekil 2.8 Uyarılmış emisyon.

2.6 MODÜLASYON

Kontrollü bir şekilde bir bilgi işaretine göre (bilgi sinyali) diğer bir işaretin(taşıyıcı dalga) belirli parametrelerinin (frekans,genlik vb) değiştirmesi ile oluşturulan olaya modülasyon denilmektedir.



Şekil 2.9 Modülasyon İşlemi.

2.7 AKUSTO- OPTİK ETKİ

Işık ses ile etkileşime girdiğinde kırınım, sapmaya ve faz modülasyonuna uğramaktadır. Bu duruma akusto optik etki denilmektedir [25-26]. Sesin basınç aralığı, ilerlediği ortam ve frekansına bağlı etkilere dayanan bir kaç faz modülasyon modeli vardır. Havada ilerleyen bir ses için faz modülasyon modeli [27]'de tanımlanmıştır. Ayrıca faz modülasyon modelinin geçerliliği nicel olarak referans [28] da incelenmiştir.

Önceki yapılmış olan araştırmalara göre, zayıf ses alanında yayılan ışık şu şekilde olarak ifade edilebilir:

$$E_0(r, t) = E_h(r, t) \exp[i\varphi] \quad (2.12)$$

Burada;

$$E_h(r, t) = |E_h| \exp[i(kr - \omega t)] \quad (2.13)$$

homojen bir terimdir ve

$$\varphi = k \frac{n_0 - 1}{\gamma P_0} \int_L P(l, t) dl \quad (2.14)$$

φ sesin neden olduğu faz modülasyonunu ifade etmektedir; $r = (x, y, z)$ üç boyutlu öklid uzayının konumudur; t zaman; ω ışığın açısal frekansı; k ışığın dalga boyuna bağlı yayılma

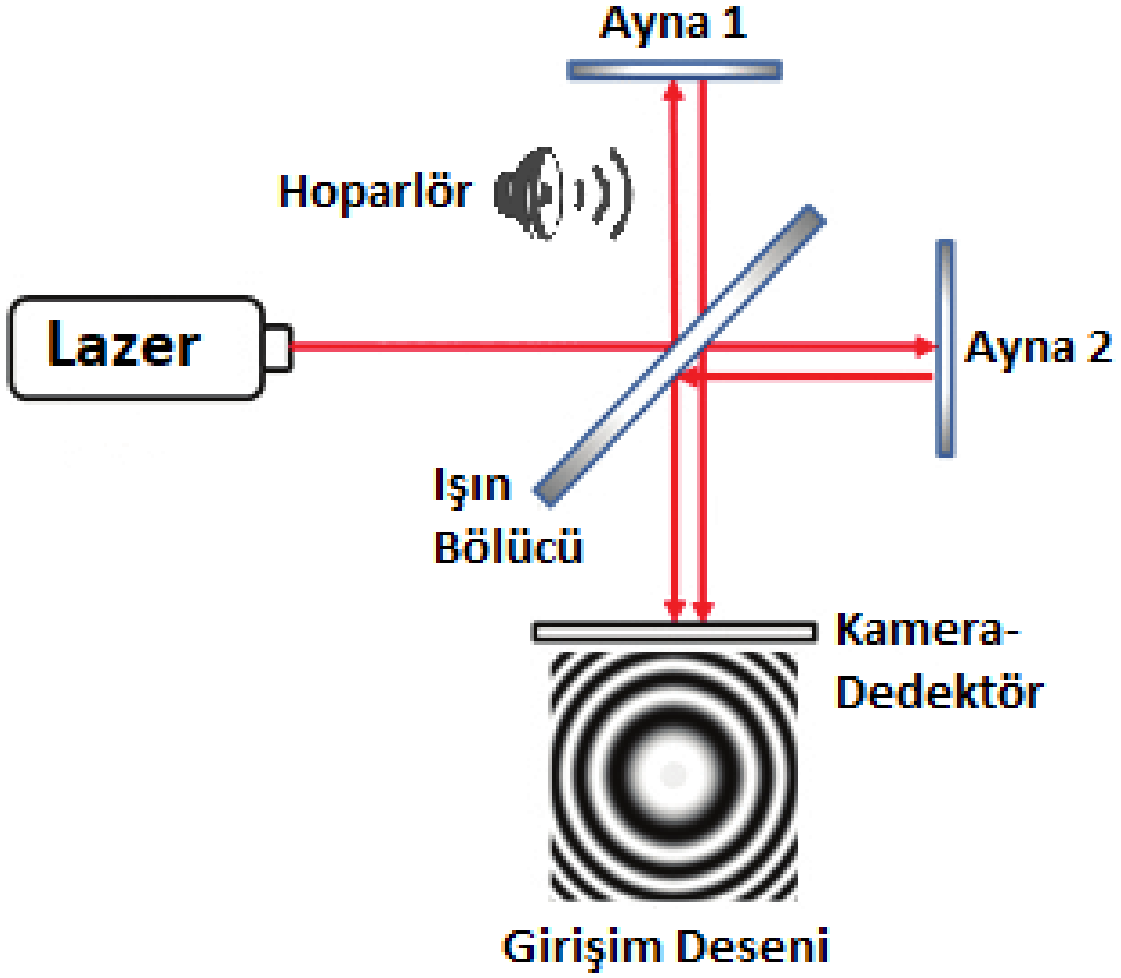
sabiti; l optik yoldur. Yukarıdaki denklemler kırılma indisindeki zamansal değişimin elektromanyetik alanın açılal frekansından oldukça daha yavaş olduğunu varsayan geometrik optik yaklaşımdan türetilir [1, 29]. E_h terimi, ortamın zamansal ve uzamsal yoğunluk değişiminin olmadığı (örneğin sesin) statik bir alanda yayılan ışığı temsil eder. Denklemler, zayıf sesin neden olduğu ışığın faz modülasyonunun, ses basıncının optik yol boyunca çizgisel integrali ile orantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, havadaki zayıf ses alanı ışığın fazı ile elde edilebilir [30].

2.8 İNTERFEROMETRE (GİRİŞİM ÖLÇER)

Elektromanyetik dalgaların üst üste getirilmesi yani elektromanyetik bir dalga olan ışığın girişim özelliğinden faydalanarak fiziksel büyüklükleri ve çeşitli özellikleri ölçmek için kullanılan bir sistemdir. Çalışma ilkesi ise monokromatik bir ışık kaynağından çıkan ışınlar ışın bölücü ile paralel demetler haline getirilir. Bu demetlerden biri referans kolu diğeri ise ölçülmek istenen etkinin bulunduğu obje kolunu oluşturmaktadır. Bu kollardan gelen ışın demetleri yeniden birleştirilerek detektör üzerinde girişim deseni meydana getirirler. İşte bu girişim desenlerinin (işaretlerin) yazılım ile değerlendirilmesi sonucu ölçülmek istenen etki ortaya çıkarılmaktadır. Literatüre kazandırılmış bir çok interferometri vardır. Burada sadece Lazer Mikrofon sisteminin çekirdeğini oluşturan Michelson interferometrisi kısaca verilecektir.

2.8.1 Michelson İnterferometresi

İlk defa Amerikalı fizikçi A.A. Michaelson (1852–1931) tarafından öne sürülmüştür. Işık kaynağından çıkan ışığın genliğinin bir ışın bölücü tarafından ikiye bölünmesi, bu ışınların farklı optik yollar yani farklı optik mesafelerden geçerek yeniden üst üste bindirilmesi ilkesine dayalı çalışmaktadır. Aslında ikiye bölünen lazer ışınlarının ilerleyip geri yansıdığı aynalara olan mesafe aynıdır ancak kollardan birindeki mesafe farkını ölçülmek istenen etki yaratmaktadır. Yani bu çalışmada yapılan sesin ışık ile etkileşimi yani akusto optik etki ışığın ilerlediği yolda farklılığa sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu iki ışın aynalardan geri yansıyıp ışın bölücüde birleştirildiğinde mesafelerin dalga boylarına oranına göre bir girişim deseni oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.10 Lazer Mikrofonun temeli olan Michelson İnterferometresi.

2.9 SİNYAL/ GÜRÜLTÜ ORANI (Signal Noise Ratio-SNR)

Burada önerilen Lazer Mikrofon sisteminden dinlenen ses dalgası üzerinde de az da olsa gürültü olacaktır. Bu gürültünün ne kadar olduğunu anlamak için sistemimizin verdiği sinyal /gürültü oranı (Signal Noise Ratio-SNR) (2.15)'deki matematiksel ifade ile bulunur (sisteme başlangıçta kayıt için verilen ses dalgasından alınan 6000 örnek için):

$$SNR = \frac{\sum_{n=1}^{6000} (P_E[n])^2}{\sum_{n=1}^{6000} (P_0[n] - P_E[n])^2} \quad (2.15)$$

Burada n örnek sayısıdır. P_E her bir örnek için yeniden elde edilen ses dalgasının şiddeti ve P_0 her bir örnek için başlangıçta kayıt için sisteme verilen ses dalgasının (referans ses dalgası) şiddetini göstermektedir. Burada sistemin SNR değeri yazılım kısmında kullanılan her bir SİA ile elde edilen sonuçlar kullanılarak hesap edilir.



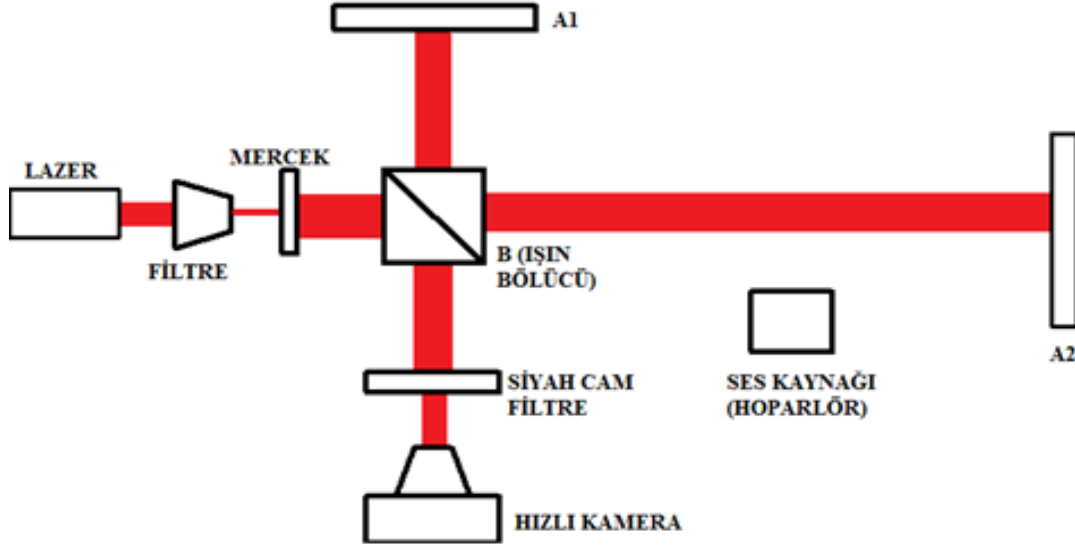
BÖLÜM 3

LAZER MİKROFON SİSTEMİ

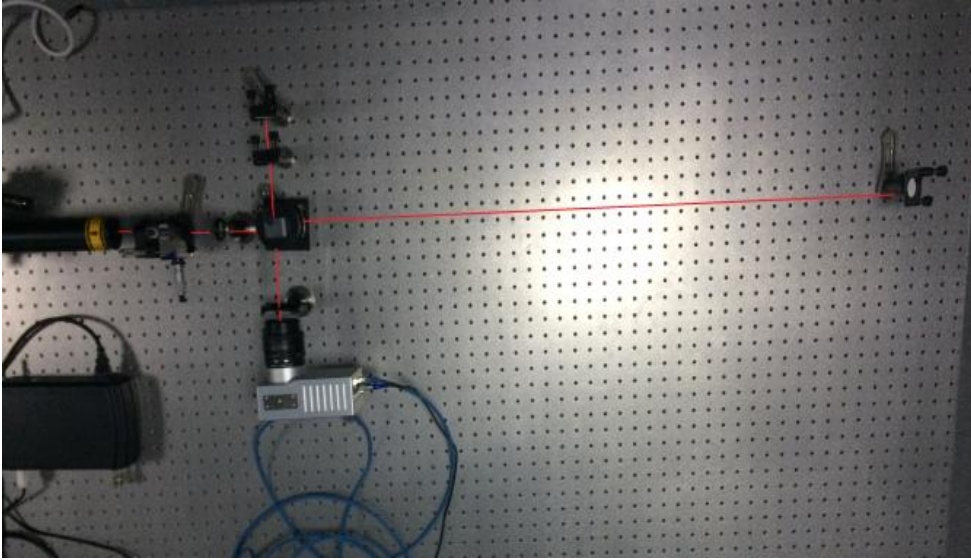
3.1 LAZER MİKROFON SİSTEMİ

Yapılan bu deneysel çalışmada 12 mW gücünde 633 nm dalga boyuna sahip kırmızı lazer ışık kaynağı, uzaysal filtre, ince kenarlı mercek, 1 adet ışın bölücü, 2 adet ayna, hızlı kamera ve bilgisayar kullanılmıştır. Lazer mikrofon sistemi Michelson interferometresine dayanmaktadır. Bu interferometri ile sistem oluşturulmuştur ve sistemden işaret olarak girişim desenleri hızlı kamera kullanılarak alınmıştır.

Lazer ışık kaynağımızdan iyi bir Gaussian işaret elde etmek için uzaysal filtre kullanılmıştır ve ince kenarlı mercek ile düzlemsel dalga oluşturulmuştur. Lazer ışığının genliği ışın bölücü ile ikiye ayrılmıştır. Dinlenilmek istenen yani kayıt için kullanılan ses dalgası hoparlör ile ortama verilmiştir. Ses dalgası olarak 'Deneme 1' söylenilen ses kaydı kullanılmıştır. Girişim desenleri hızlı kamera ile kayıt edilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır. Nyquist kriterine göre bir işareti yeniden elde etmek için örnekleme yaparken işaretin içinde bulunan maksimum frekansın 2 katı kadar minimum bir örnekleme frekansı seçilmelidir. Bu nedenle bizim ses dalgamızın maksimum frekansı 1 kHz olarak alınmış ve örnekleme frekansı da 2 kHz seçilmiştir. Bu sayısal domende 1 saniyede 2000 örnek almak yani 3 s' de 6000 örnek elde etmek anlamına gelmektedir. Burada 6000 adet ses girişim deseni elde edilmektedir. Elde edilen bu girişim desenleri (işaretler) lazer mikrofonun bilgisayar üzerinde bulunan yazılım kısmındaki SIA'lar kullanılarak değerlendirilmiş ve kayıt edilen "deneme 1" sesi tekrar dinlenmiştir. Lazer Mikrofon Sisteminin şematik görünümü Şekil 3.1 'de gösterilmiştir. Sistemin laboratuardaki kurulumu şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Michelson interferometresini temel alan lazer mikrofon: A1 ve A2 aynaları göstermektedir.



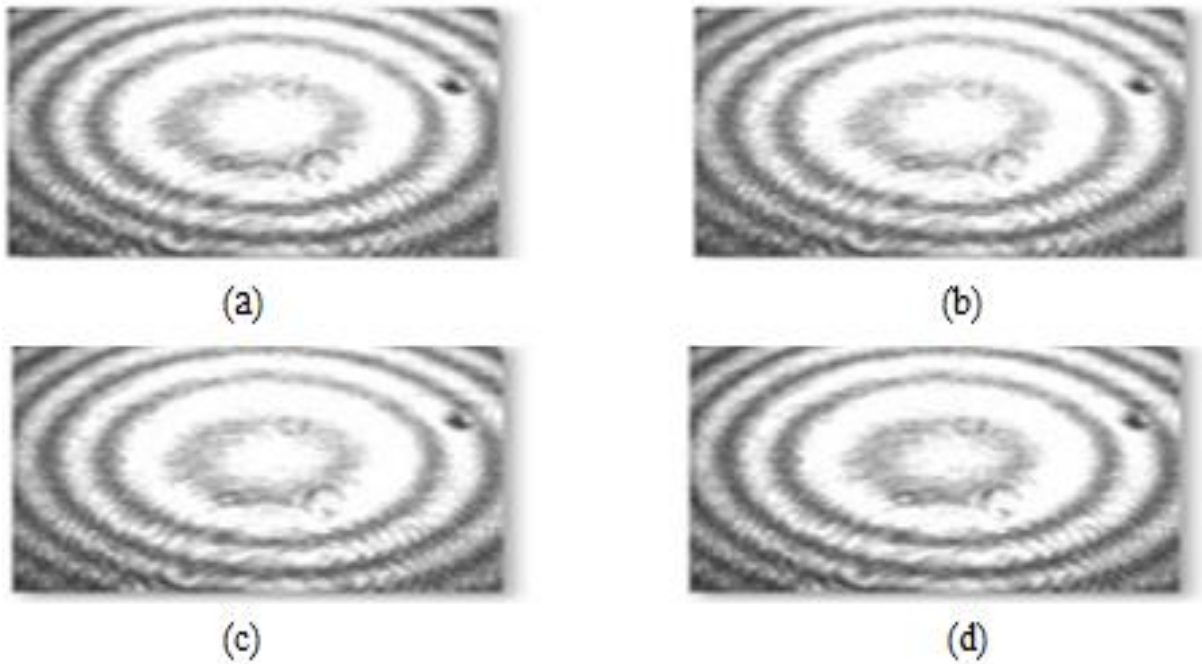
Şekil 3.2 Tezde kullanılan lazer mikrofon sistemi.

Lazer ışık kaynağından çıkan ışın dağınık halde olduğundan uzaysal filtre ile nokta kaynak haline getirilmiştir. Daha sonra bu nokta kaynak ince kenarlı mercek ile düzlemsel dalgaya dönüştürülüp, ışın bölücüyü gönderilmiştir. Işın bölücü lazer ışığının genliğini ikiye bölmüştür. Bu iki yoldan birisi referans yol olup diğeri ise obje kolu olarak adlandırılmaktadır. Objeye koluna dinlemek istediğimiz ses hoparlör ile verilmektedir. Hoparlör tarafından verilen ses obje kolundaki lazer ışığını akusto-optik etki ile modüle eder. Modüle olmuş ışık obje kolundaki aynadan geri yansırarak ışın bölücüyü tekrar gelir. Referans kolundaki ışın da aynı obje kolundaki ışın gibi referans kolunda bulunan aynadan geri

yansıyarak ışın bölücüye gelir. Daha sonra burada birleştirilerek girişim deseni oluştururlar. Bu girişim deseni kamera vasıtası ile bilgisayara aktarılır. Nyquist kriterine göre bir sesi yeniden dinleyebilmek için sesin içinde bulunan en yüksek frekansın minimum 2 katı kadar ya da daha büyük bir örnekleme frekansı seçmek gerekir. Burada sisteme verilen sesin maksimum frekansı 1 kHz olarak kabul edilmiş olup en az 2 kHz'lik bir örnekleme frekansı seçilmiştir. Bu frekansa erişmek için saniyede kameradan en az 2000 adet örnek alınması gerekir. Sisteme 3 sn süre ile ses verildiğinden burada 6000 örnek alınarak işlem yapılmıştır. Bu sistemde kullanılan bir CMOS hızlı kameradır. 132×132 piksellik bir çözünürlüğü sahip olmakla beraber bir pikselin boyutu $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ kadardır. Sisteme kayıt için verilen referans ses dalgası hoparlör tarafından ortama verilen “deneme 1” insan sesidir.

3.2 LAZER MİKROFON SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN GİRİŞİM DESENLERİNDEN ÖRNEKLER

Bölüm 3.1’de anlatılan deney düzeneğinden elde edilen birkaç girişim deseni Şekil 3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3 Lazer Mikrofon sisteminden elde edilen 6000 adet girişim deseninden alınan örnekler.(a) 1500.girişim desenini, (b) 3000.girişim desenini, (c) 4500.girişim desenini, (d) 6000’incigirişim desenini ifade etmektedir.



BÖLÜM 4

SİNYAL İŞLEME ALGORİTMALARI VE TERS FİLTRELEME TEKNİĞİ

4.1 SİA'LAR VE MATEMATİKSEL TEORİLERİ

4.1.1 1 Boyutlu (1B) Hızlı Fourier Dönüşümüne (1 Dimensional Fast Fourier Transform -(1D) FFT) Dayalı SİA

Girişim desenlerinden (Lazer mikrofondan elde edilen işaretler yani $g(x, y)$), faz bilgisini elde etmek için 1982 de ilk defa Takeda tarafından ortaya atılan Hızlı Fourier Dönüşümüne dayalı SİA kullanılır [5].

$$g(x, y) = I_0(x, y)[1 + \cos(my + \varphi(x, y))] \quad (4.1)$$

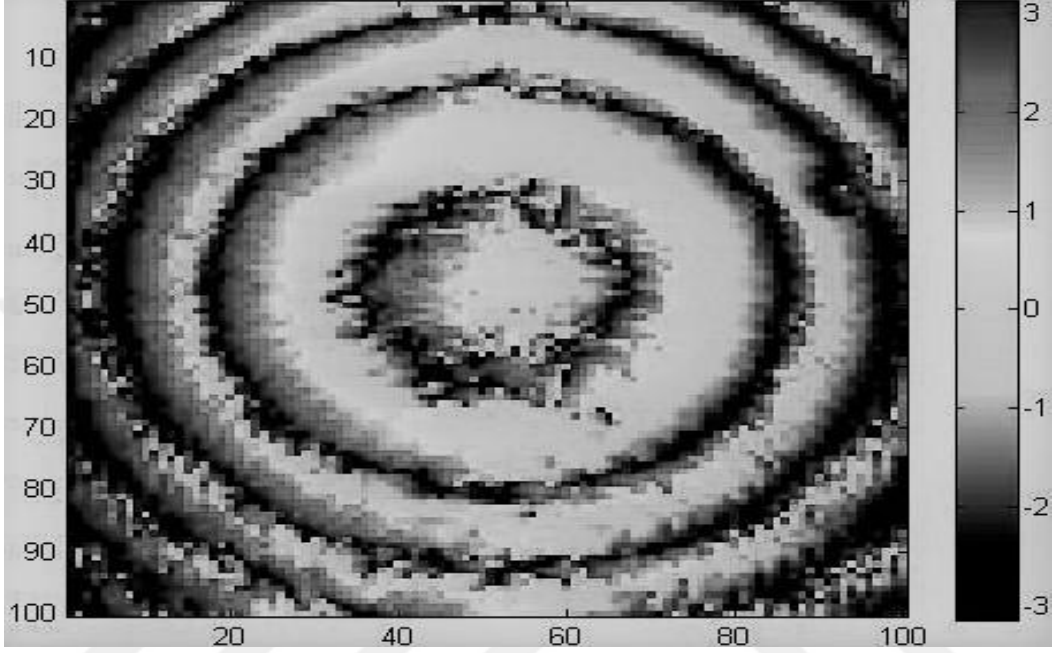
Burada $I_0(x, y)$ arka plan şiddeti, m yatay y yönünde uzaysal taşıyıcı frekansı gösterirken, $\varphi(x, y)$ optiksel fazdır. Bu girişim deseninin faz bilgisini bulmak için, $g(x, y)$ 'nin Fourier dönüşümü denklem (4.2) kullanılarak elde edilir.

$$G(f, y) = FFT\{g(x, y)\} \quad (4.2)$$

Aynı zamanda Girişim deseninin tüm satırlarının sırası ile FFT'si elde edilir. Bu adımdan sonra ilk girişim deseninin FFT'sinin genlik spektrumundan parlak bir piksel (x, y) seçilir. Zamansal faz dağılımı $\varphi(x, y)$, (Lazer mikrofon sistemi ile yakalanan ses dalgası), filtrelenen $G(f, y)$ 'nin ters Fourier dönüşümü $p(x, y)$ elde edildikten sonra belirtilen piksel için faz bulunarak elde edilir. Son olarak 6000 adet girişim deseni için sadece bu piksel için fazlar denklem (4.3) ile bulunur [5]

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\Im\{p(x, y)\}}{\Re\{p(x, y)\}} \quad (4.3)$$

Hızlı Fourier Dönüşümüne dayalı SIA dayalı SIA kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.1'de verilmektedir. Bu dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir.



Şekil 4.1 Hızlı Fourier Dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksen ve dikey (Y) pixel eksen ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'te sunulacaktır.

4.1.2 1 Boyutlu (1B) -Hilbert Dönüşümüne dayalı SIA

Lazer mikrofondan elde edilen girişim deseni $g(x, y)$ 'nin Hilbert dönüşümü aşağıdaki gibi $A(x, y)$ ile verilir. $F(f), g(x, y)$ 'nin 1-Boyutlu Fourier spektrumunu gösterebilir. $A(x, y)$ $g(x, y)$ 'nin negatif frekansları kesilerek denklem (4.4)'deki gibi oluşturulur [5].

$$A(x, y) = 2 \int_0^{\infty} F(f) \exp(-2i\pi f x) df = \int_{-\infty}^{\infty} F(f) [\text{sign}(f) + 1] \exp(-2i\pi f x) df \quad (4.4)$$

Burada 2 faktörü işaretin enerjisini korumak için kullanılır ve $\text{sign}(f)$ denklem (4.5) ile tanımlanır.

$$\text{sign}(f) = \frac{|f|}{f} = \begin{cases} -1, & f < 0 \\ +1, & f \geq 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

$A(x, y)$, aslında $A(x, y) = g(x, y) + A'(x, y)$ bu şekilde iki bileşenden oluşur. Burada $A'(x, y)$ imajiner kısımdır ve denklem (4.6) ile verilir.

$$A'(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) \text{sign}(f) \exp(-2i\pi f x) df \quad (4.6)$$

$g(x, y)$ 'nin Hilbert dönüşümü gerçel bir işarettir ve denklem (4.7)'deki gibi temsil edilir.

$$\tilde{A}(x, y) = \frac{1}{i} A'(x, y) = \frac{1}{i} \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) \text{sign}(f) \exp(-2i\pi f x) df \quad (4.7)$$

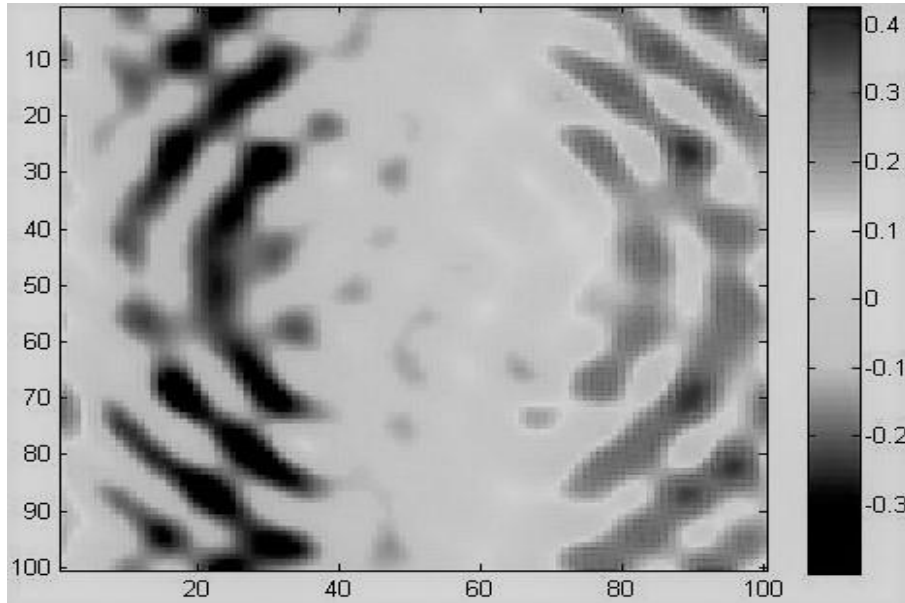
Şimdi $A(x, y)$ işareti $A(x, y) = g(x, y) + i\tilde{A}(x, y)$ olarak yazılabilir. Bu yüzden $A(x, y)$, $g(x, y)$ gerçek işarettinden üretilen kompleks bir işarettir. $A(x, y)$ 'nin frekans spektrumu yalnızca negatif frekanslar için sıfırdır. Ayrıca frekans domenindeki DC terim elimine edilir.

$\varphi(x, y)$ fazı denklem (4.8) kullanılarak hesap edilir.

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{\Im(A(x, y))}{\Re(A(x, y))} \right) \quad (4.8)$$

Burada $\Im(A(x, y))$ ve $\Re(A(x, y))$ sırası ile $A(x, y)$ 'nin imajiner ve reel bileşenleridir [6].

Hilbert Dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.2'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır.



Şekil 4.2 Hilbert Dönüşümüne dayalı dayalı SİA kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksen ve dikey (Y) pixel eksen ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

4.1.3 1 Boyutlu (1B) -Stockwell Dönüşümüne Dayalı SİA

Lazer mikrofondan elde edilen işaret, $g(x,y)$, (4.1)'deki gibi yazılabilir Zamansal faz dağılımı (Lazer mikrofondan yeniden elde edilen ses dalgası), $\varphi(x,y)$, Stockwell Dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak bu işaretten elde edilebilir.

Stockwell Dönüşümü, Sürekli Dalgacık Dönüşümünün (Continuous Wavelet Transform-CWT) bir uzantısıdır. Bu dönüşüm ölçeklendirilebilen ve hareket ettirilebilen bir Gaussian penceresine dayandırılır. Girişim deseni, $g(x,y)$ 'nin bir satırının Sürekli Dalgacık Dönüşümü denklem (4.9) ile verilir.

$$W(x, a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} h^* \left(\frac{y-b}{a} \right) \cdot g(x, y) \cdot dy \quad (4.9)$$

Burada a ölçek, b kaydırma parametresi ve $h \left(\frac{y-b}{a} \right)$ ana dalgacıktır. h^* ana dalgacığın kompleks eşleniğidir. Bir girişim deseninin bir boyutlu Stockwell dönüşümü (S dönüşümü) bir faz faktörü ile çarpılan spesifik bir ana dalgacık ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümü olarak tanımlanabilir ve denklem (4.10) ile verilir [6 , 31].

$$S(x, f, b) = e^{2\pi \cdot i \cdot f \cdot b} \cdot W(x, a, b) \quad (4.10)$$

Spesifik ana dalgacık denklem (4.11)'deki gibi verilebilir.

$$h(y, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-2\pi \cdot i \cdot f \cdot b} \cdot e^{-\frac{y^2 \cdot f^2}{2}} \quad (4.11)$$

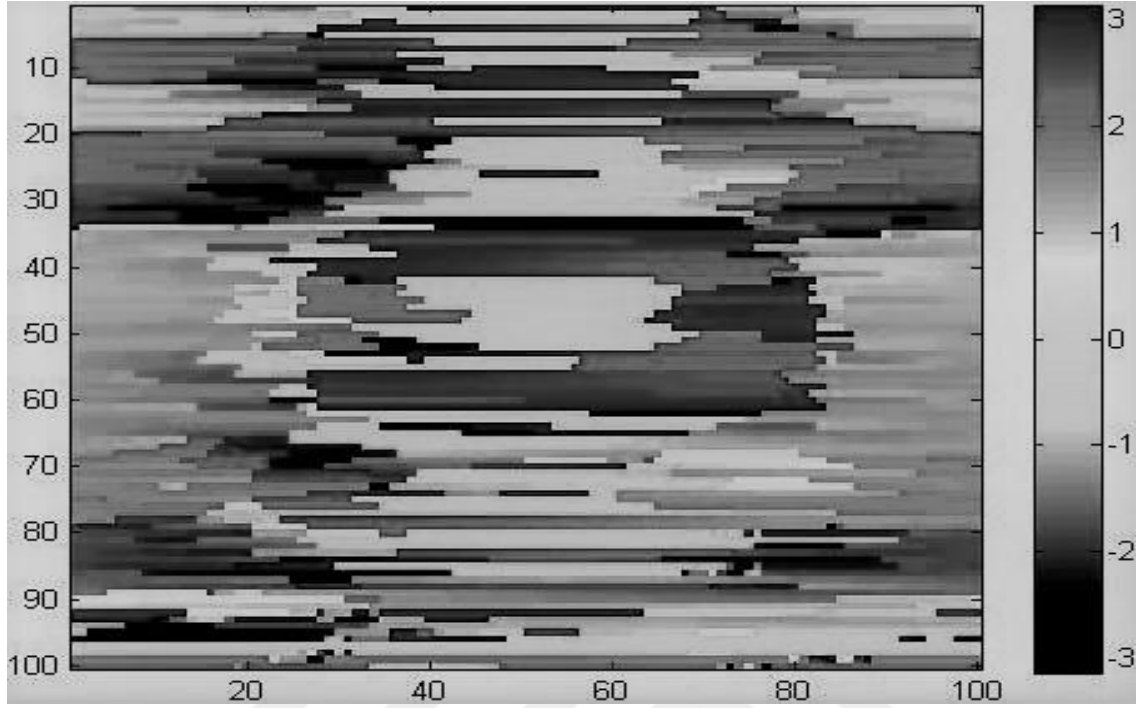
Burada f frekansı a ölçeklendirme parametresinin tersidir. $g(x,y)$ 'nin bir boyutlu Stockwell dönüşümüm denklem (4.12) ile elde edilebilir [6, 31].

$$S(x, f, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x, y) \cdot \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(b-y)^2 \cdot f^2}{2}} \cdot e^{-2\pi \cdot i \cdot f \cdot b} \cdot dy \quad (4.12)$$

S dönüşümünün maksimum frekanslarının yer aldığı sırt noktalarındaki faz değerleri $\varphi(x, y)$ tüm b 'ler için denklem (4.13) kullanılarak hesap edilir.

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{\Im(S(x,f,b))}{\Re(S(x,f,b))} \right) \quad (4.13)$$

Burada $\Im(S(x, f, b))$ ve $\Re(S(x, f, b))$ sırası ile S dönüşümünün imajiner ve reel bileşenleridir.



Şekil 4.3 Stockwell Dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) piksel eksenini ve dikey (Y) piksel eksenini ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

Stockwell Dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.3'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır.

4.1.4 1 Boyutlu (1B) -Sürekli Dalgacık Dönüşümüne (1D-Contiuous Wavelet Transform-1D- CWT) dayalı SIA

CWT kullanılarak zaman frekans grafiği elde edilebilir. $g(x,y)$ 'nin CWT aşağıdaki gibi verilebilir: [8, 37-40]

$$W(x, a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} h^* \left(\frac{y-b}{a} \right) g(x, y) dy \quad (4.14)$$

Burada a ölçeklendirme parametresi, b kaydırma parametresi ve $h\left(\frac{y-b}{a}\right)$ ana dalgacıdır. h^* ana dalgacığın kompleks eşleniğini göstermektedir. Bu çalışmada birkaç ana dalgacık kullanılmaktadır [7, 32-35]. İlk olarak ana dalgacık karmaşık morlet dalgacı olarak seçilir ve aşağıdaki gibi yazılabilir [7, 32-35].

$$h(y) = \sqrt{\pi f_b} \exp(i2\pi f_c y) \exp\left(-\frac{y^2}{f_b}\right) \quad (4.15)$$

Burada f_b bant genişliğidir, f_c dalgacık merkez frekansıdır. $h(y)$ denklem (4.16) ile verilebilir.

$$h\left(\frac{y-b}{a}\right) = \sqrt{\pi f_b} \exp\left(i2\pi f_c \left(\frac{y-b}{a}\right)\right) \exp\left(-\frac{1}{f_b} \left(\frac{y-b}{a}\right)^2\right) \quad (4.16)$$

CWT'nin maksimum frekanslarında yani tepe noktalarındaki faz, $\varphi(x, y)$, her bir b için aşağıdaki gibidir:

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{\Im m(W(x, a, b))}{\Re e(W(x, a, b))} \right) \quad (4.17)$$

Burada $\Im m(W(x, a, b))$ ve $\Re e(W(x, a, b))$ sırasıyla CWT'nin imajiner ve reel kısmını göstermektedir [7, 32-35].

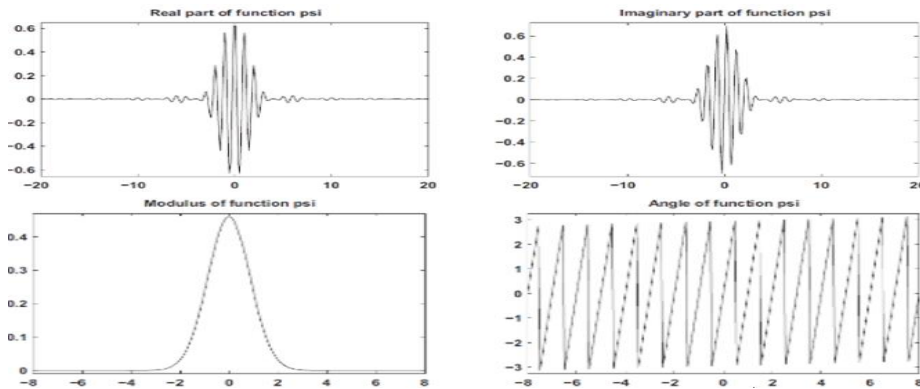
Çalışmada kullanılan ana dalgacıklar aşağıdaki gibidir:

a) Karmaşık Morlet Dalgacı (cmor)

Karmaşık bir Morlet dalgacı denklem (4.18) ile tanımlanır [35];

$$h(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_b}} e^{2i\pi f_c y} e^{-\frac{y^2}{f_b}} \quad (4.18)$$

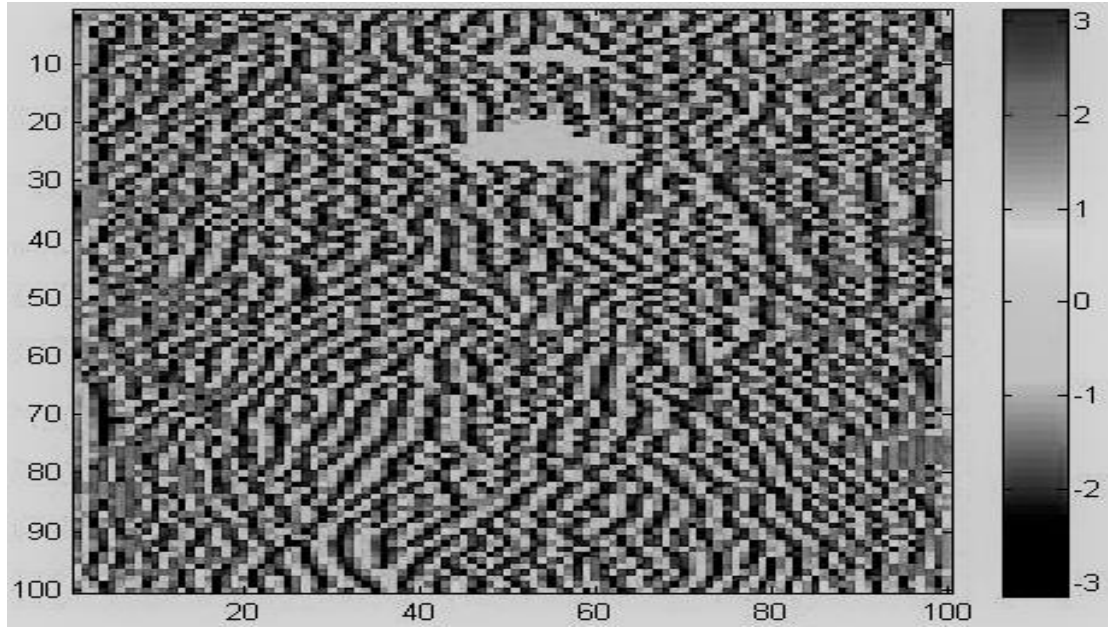
Şekil 4.4'de karmaşık Morlet dalgacığının özelliklerinin sergileyen birkaç şekil sunulmaktadır [35].



Şekil 4.4 Karmaşık Morlet Dalgacı için örnek. cmor dalgacığının reel ve imajiner kısımları bu şekilde verilmektedir. Aynı dalgacığın Fourier dönüşümünün açısı ve genliği de şekilde gösterilmektedir.

Denklem (4.14)'e, denklem (4.18) yerleştirilir ve $W(x, a, b)$ elde edilir. Son olarak $\varphi(x, y)$ de denklem (4.17) ile hesap edilir.

Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA cmor dalgacığı ile kullanıldığında, lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.5'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanılan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır.



Şekil 4.5 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA cmor dalgacığı kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) piksel eksenini ve dikey (Y) piksel eksenini gösteren girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

b) Karmaşık Gaussian Dalgacığı (cgau)

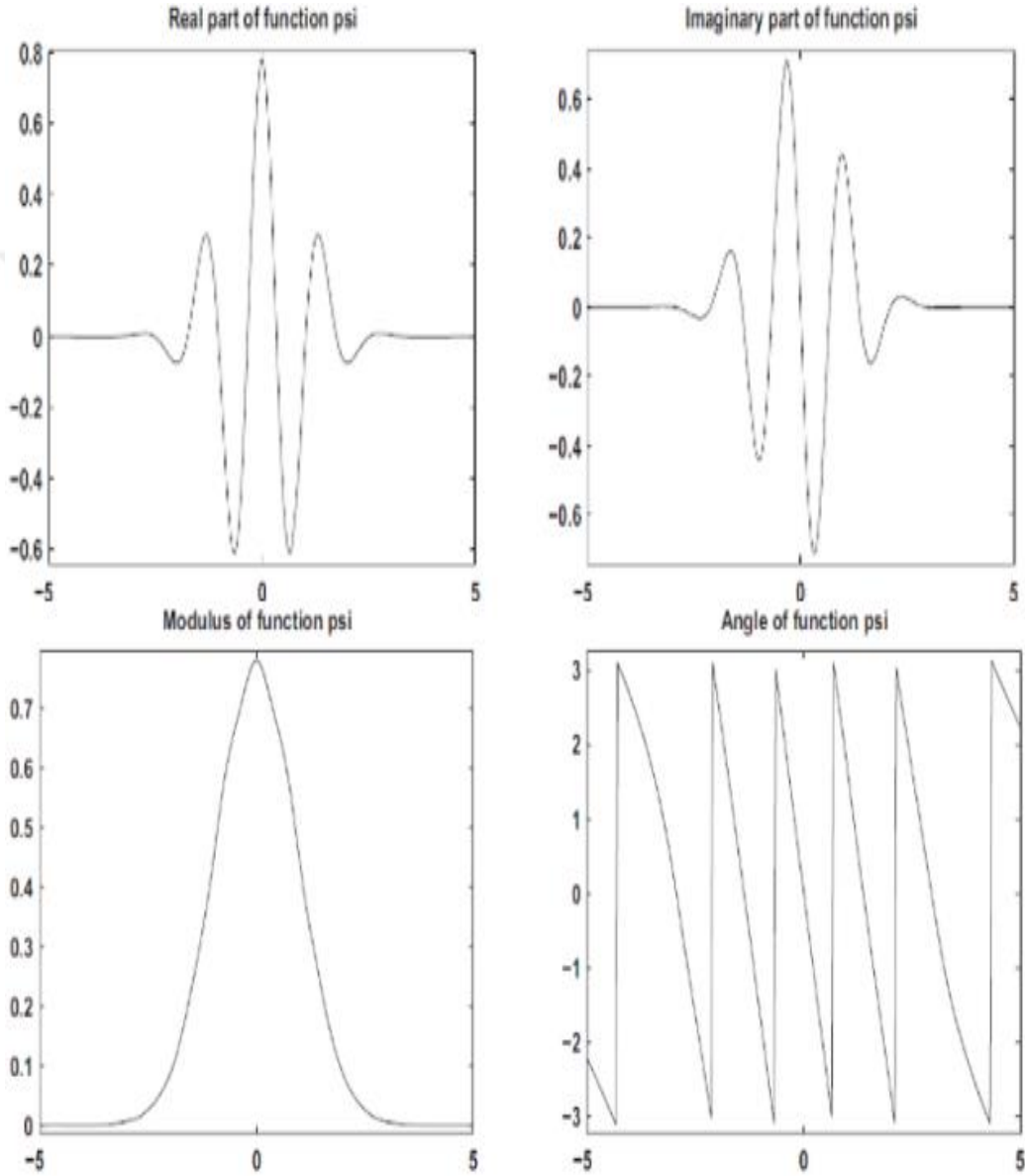
Bu dalgacık ailesi karmaşık Gaussian fonksiyonundan başlayarak oluşturulur. Karmaşık Gaussian dalgacığı f 'e bağlı p 'inci türev olarak,

$$h(y) = C_p e^{-iy} e^{-y^2} \quad (4.19)$$

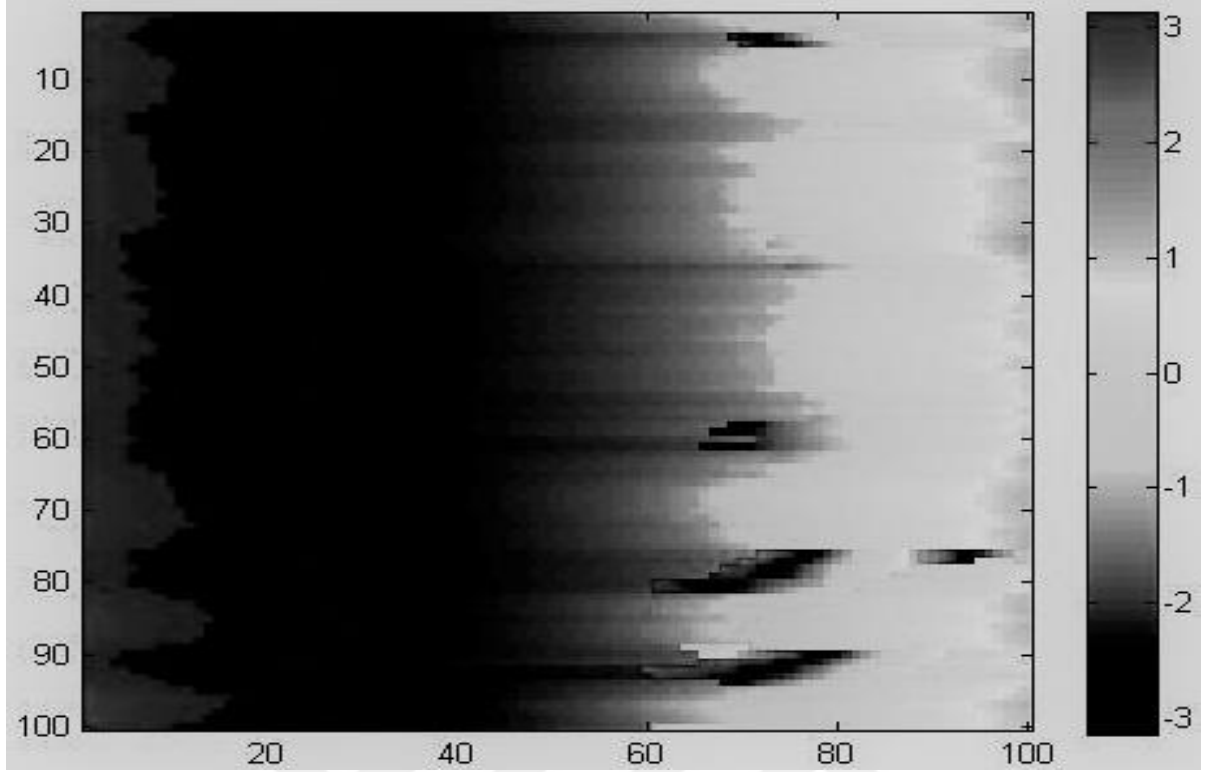
ile verilir. Burada p tamsayısı bu ailenin parametresidir ve önceki formülde, $C_p \|f^{(p)}\|^2 = 1$ olduğunda düşünülür ve burada f_p f 'e bağlı p 'inci türevdir [35].

Denklem (4.14)'de denklem (4.19) yerine konularak, $W(x, a, b)$ elde edilir. $\varphi(x, y)$ denklem (4.17)'deki gibi bulunur. Şekil 4.6'da karmaşık Gaussian dalgacığı için bir örnek sunulur.

Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA cgau dalgacığı ile kullanıldığında, lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.7'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır [35].



Şekil 4.6 Karmaşık Gaussian Dalgacığı için örnek, cgau dalgacığının reel ve imajiner kısımları bu şekilde verilmektedir. Aynı dalgacığın Fourier dönüşümünün açısı ve genliği de şekilde gösterilmektedir



Şekil 4.7 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA cgau dalgacığı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksen ve dikey (Y) pixel eksen ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

c) Gaussian Dalgacığı (gau)

Bu dalgacık ailesi karmaşık Gaussian fonksiyonundan başlayarak oluşturulur. Gaussian dalgacığı f' 'e bağlı p 'inci türev olarak,

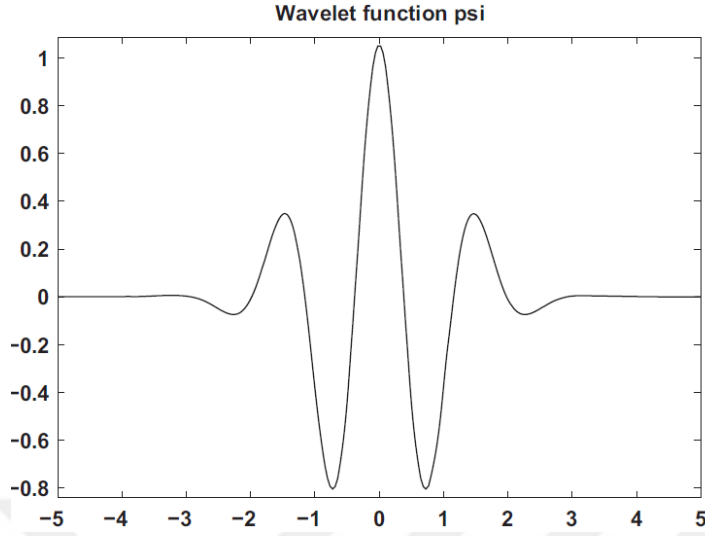
$$h(y) = C_p e^{-y^2} \quad (4.20)$$

ile verilir. Burada p tamsayısı bu ailenin parametresidir ve önceki formülde, $C_p \|f^{(p)}\|^2 = 1$ olduğunda düşünülür ve burada f_p f 'e bağlı p 'inci türevdir [35].

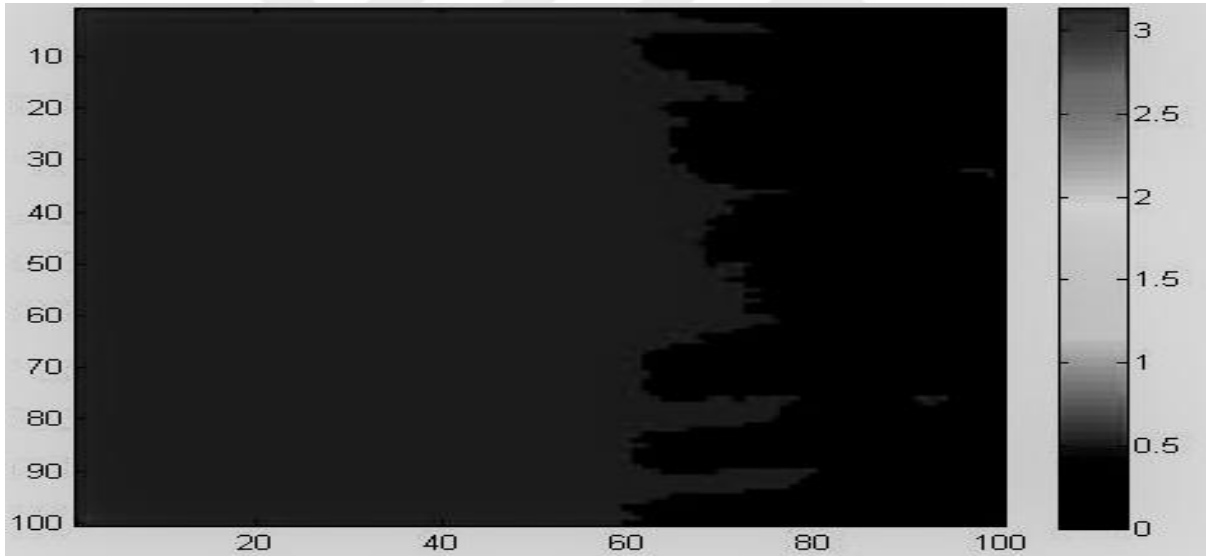
Denklem (4.14)'de denklem (4.20) yerine konularak, $W(x, a, b)$ elde edilir. $\varphi(x, y)$ denklem (4.17)'deki gibi bulunur. Şekil 4.8'de Gaussian dalgacığı için bir örnek sunulur[35].

Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA gau dalgacığı ile kullanıldığında, lazer mikrofon sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.9'da verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi

kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5’de sunulacaktır.



Şekil 4.8 Gaussian Dalgacı için bir örnek.



Şekil 4.9 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA gau dalgacı kullanılarak lazer mikrofon sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksen ve dikey (Y) pixel eksen ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

d) Karmaşık Frekans B-spline Dalgacık (fbsp)

Karmaşık Frekans B-spline Dalgacık

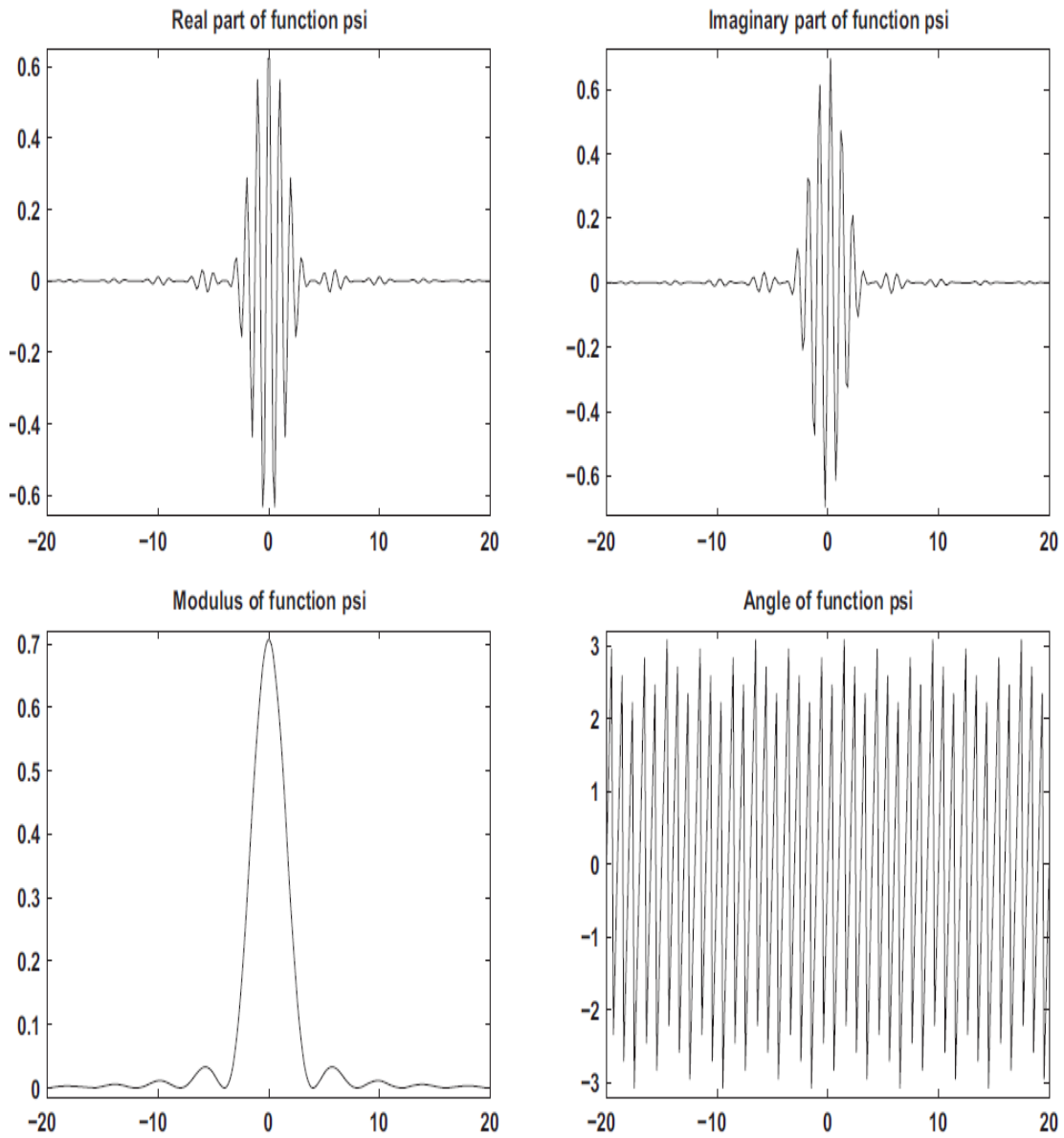
$$h(y) = \sqrt{f_b} \left(\text{sinc} \left(\frac{f_b y}{m} \right) \right)^m e^{2i\pi f_c y} \quad (4.21)$$

aşağıdaki üç parametreye bağlı olarak tanımlanır:

- m dereceyi gösteren bir tamsayıdır,
- f_b band genişliğini ifade eder,
- f_c dalgacık merkez frekansıdır.

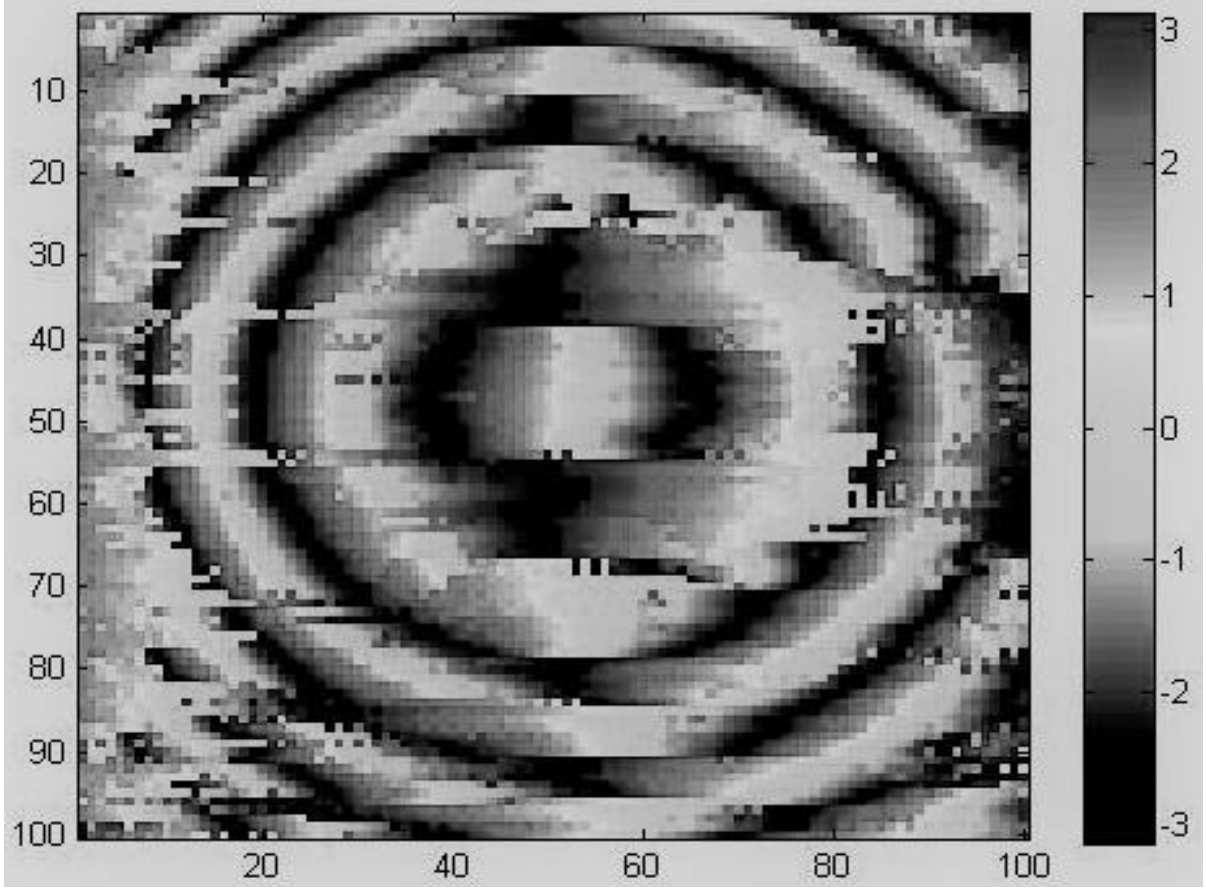
Şekil 4.10'da Karmaşık Frekans B-spline Dalgacığı için bir örnek verilmektedir[35].

Denklem (4.14)'de denklem (4.21) yerine konularak, $W(x, a, b)$ elde edilir. $\varphi(x, y)$ denklem (4.17)'deki gibi bulunur.



Şekil 4.10 Karmaşık Frekans B-spline Dalgacığı için örnek. fbsp dalgacığının reel ve imajiner kısımları bu şekilde verilmektedir. Aynı dalgacığın Fourier dönüşümünün açısı ve genliği de şekilde gösterilmektedir.

Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA fbsp dalgacığı ile kullanıldığında, lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.11'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır.



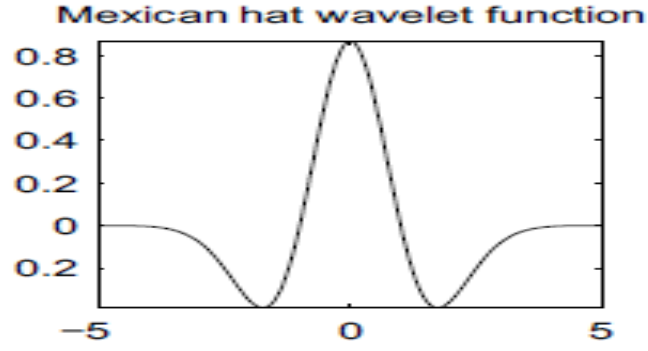
Şekil 4.11 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SIA fbsp dalgacığı kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksenini ve dikey (Y) pixel eksenini gösteren girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

e) Mexican Hat Dalgacığı (mexh):

Bu dalgacık ölçeklendirme fonksiyonuna sahip değildir ve Gaussian olasılık yoğunluk fonksiyonunun ikinci türevi olan bir fonksiyondan türetilir. Mexican Hat dalgacık fonksiyonu

$$h(y) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-\frac{1}{4}} (1 - y^2) e^{-y^2/2} \quad (4.22)$$

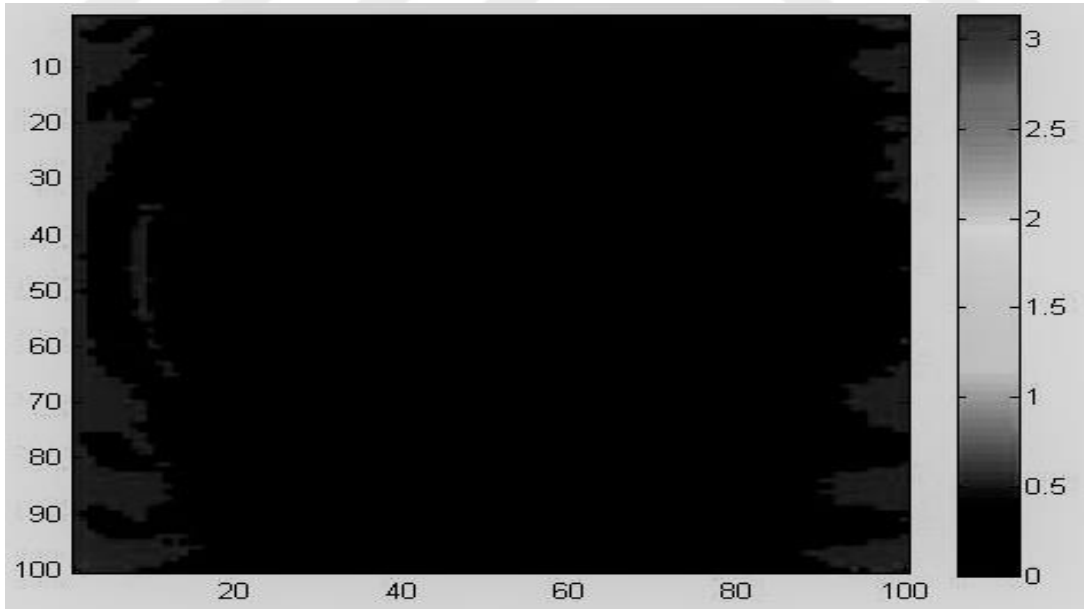
ile verilir [35]. Şekil 4.12'de Mexican Hat Dalgacığı için bir örnek verilmektedir [36].



Şekil 4.12 Mexican Hat Dalgacığı için bir örnek.

Denklem (4.14)'de denklem (4.22) yerine konularak, $W(x, a, b)$ elde edilir. $\varphi(x, y)$ denklem (4.17)'deki gibi bulunur.

Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA mexh dalgacığı ile kullanıldığında, lazer mikrofön sisteminden elde edilen 6000'inci girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen faz dağılımı Şekil 4.13'de verilmektedir. Bu Dağılımdan sadece bir piksel (x,y) seçilerek tek bir noktanın fazı alınır. 6000 adet girişim deseninden elde edilen 6000 adet faz bilgisi kullanılarak bir zamansal faz dağılımı (sistem tarafından yakalanılan ses dalgası) elde edilir. Bu sonuç ses dalgası Bölüm 5'de sunulacaktır.



Şekil 4.13 Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA mexh dalgacığı kullanılarak lazer mikrofön sisteminden elde edilen toplam girişim deseni ((100x100) adet piksel den oluşur) için elde edilen genlik dağılımı. Yatay (X) pixel eksenini ve dikey (Y) pixel eksenini ile gösterilen girişim deseninin yanında yer alan ölçek genlik seviyesini ifade etmektedir.

4.2 SİA'LARDA KULLANILAN TERS FİLTRELEME TEKNİĞİ

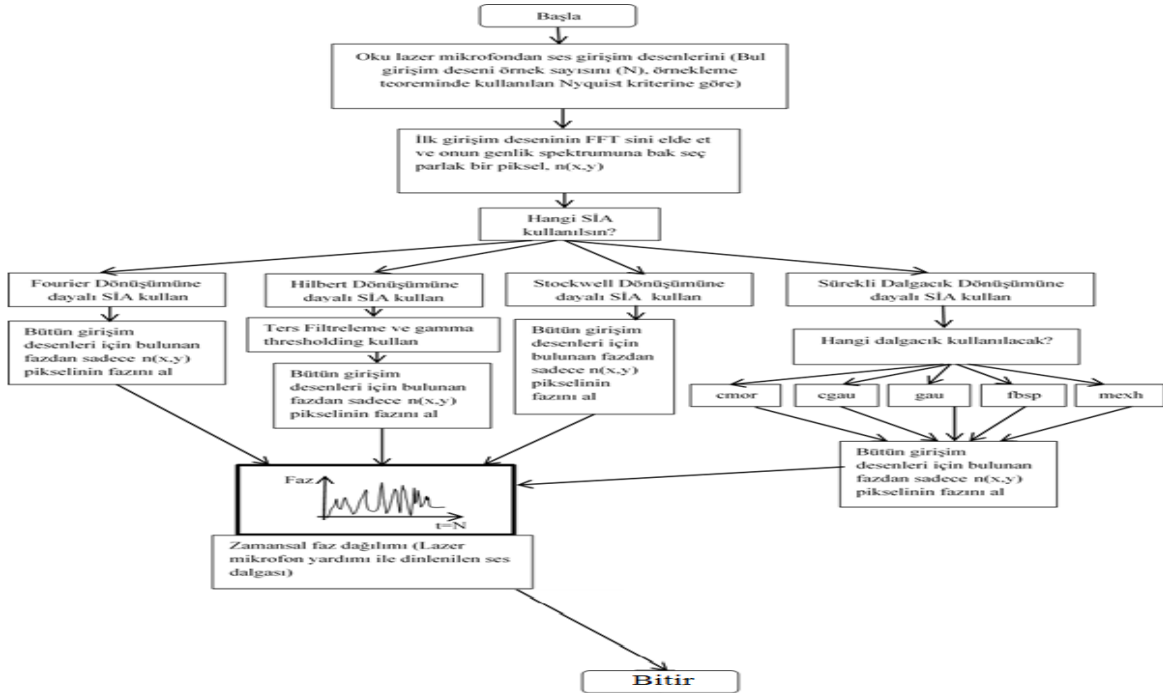
Frekans domeninde filtreleme işlemi: Faz bilgisinin (lazer mikrofondan elde edilen işaretten SİA'larla yeniden elde edilen ses dalgası $\varphi(x,y)$) hızlı Fourier dönüşümü, $F(x,y)$, ters filtrenin hızlı Fourier dönüşümü, $H(x,y)$ ile çarpılır;

$$Y(x,y) = F(x,y) H(x,y) \quad (4.23)$$

$Y(x,y)$ filtrelenen sesin hızlı Fourier dönüşümüdür. Filtrelenen ses dalgasının (faz bilgisinin) hızlı Fourier dönüşümünü bulmak için denklem(4.24) kullanılır:

$$F(x,y) = \frac{Y(x,y)}{H(x,y)} \quad (4.24)$$

Buradan, Uzamsal domene dönmek için $F(x,y)$ 'nin ters hızlı Fourier dönüşümü alınır [8, 36]. Ayrıca gamma thresholding, $F(x,y)$ 'nin yüksek frekans değerlerini gamma değerlerine sınırlamak için kullanılır. Bu bağlamda, bütün SİA'lara bu ters filtreleme işlemi uygulanır [8, 36]. Fakat en az gürültülü en iyi sonucu veren Hilbert dönüşümüne dayalı SİA olmuştur. Bu tezde diğer SİA'ların sonuçlarına bu ters filtreleme tekniği ve gamma thresholding uygulanmamıştır. Ters filtreleme yapılan Hilbert dönüşümüne dayalı SİA ile elde edilen sonuç kullanılarak ne kadarlık bir SNR değeri bulunmaktadır Bölüm 5'de sunulacaktır. Ayrıca tüm SİA'ların nasıl kullanıldığına dair sistemin yazılım akış diyagramı Şekil 4.14'de sunulmaktadır.

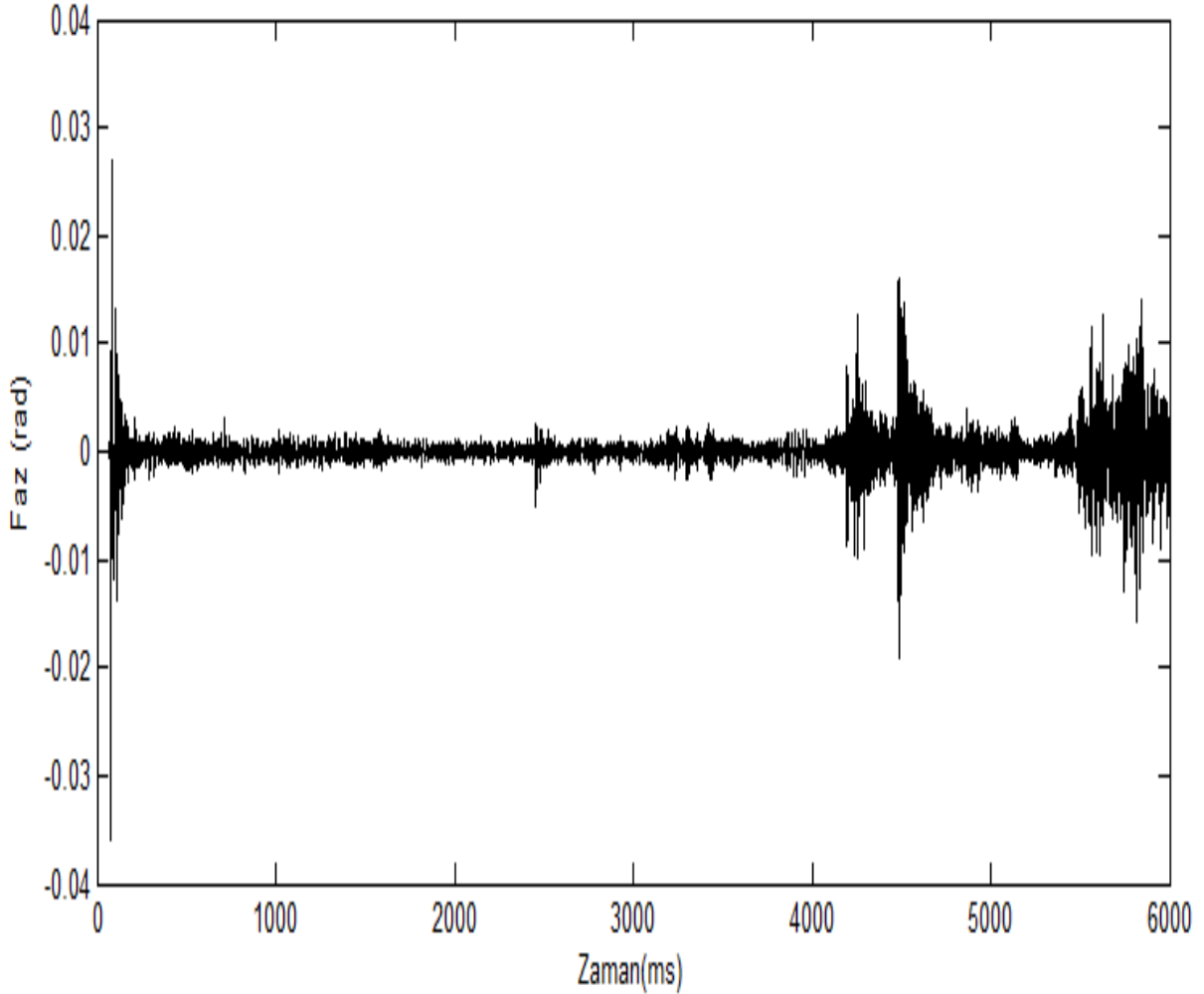


Şekil 4.14 Tüm SİA'ların kullanıldığı sistemin yazılım akış diyagramı.

BÖLÜM 5

LAZER MİKROFON SİSTEMİNİN YAZILIM KISMINDA KULLANILAN SİA'LAR İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu kısımda Yukarıda yazılım kısmında kullanılan tüm SİA'ların verdiği sonuçlar verilmektedir. Ancak Lazer mikrofona dinlemek için başlangıçta verilen “referans ses” ‘Deneme 1’ için faz-zaman grafiği (elektriksel işaret) aşağıda Şekil 5.1’de sunulmaktadır.

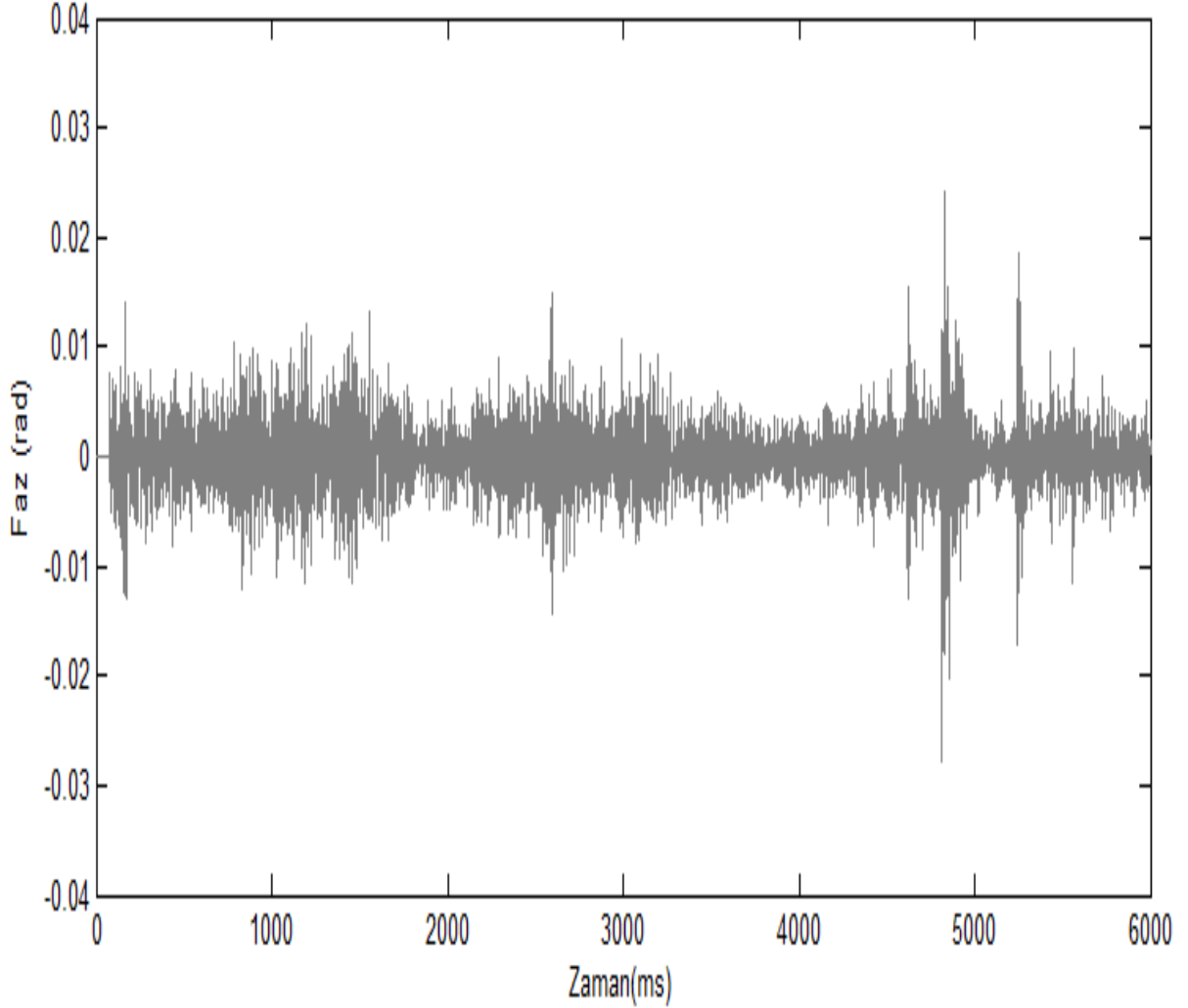


Şekil 5.1 Lazer mikrofona dinlemek için başlangıçta verilen “referans ses” ‘Deneme 1’ için faz-zaman grafiği (elektriksel işaret).

5.1 FOURIER DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, Fourier dönüşümüne dayalı SİA ile bulunmuş ve sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Fourier dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

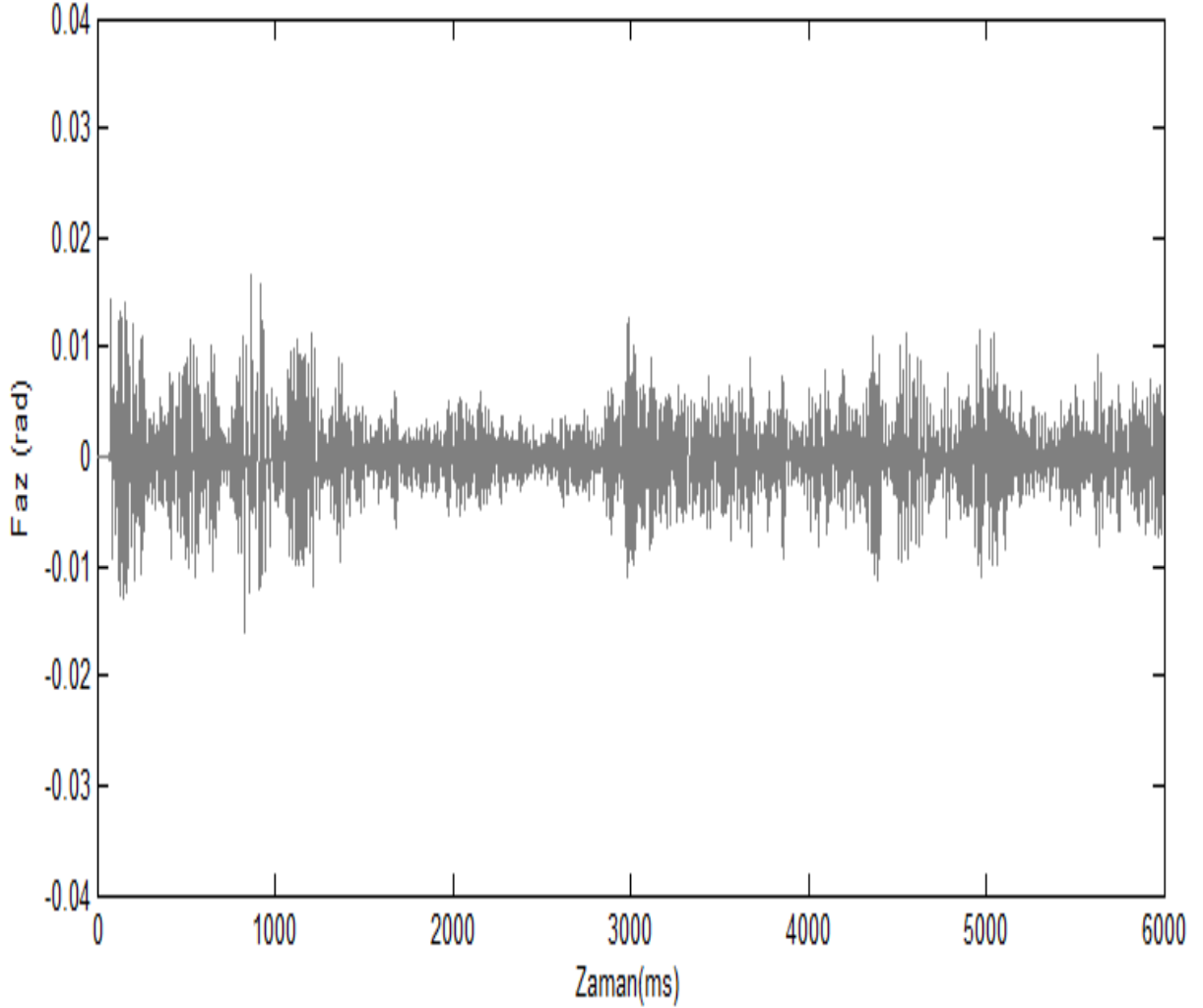
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.2’deki sonuç ve Şekil 5.1’deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 75,25 bulunmuştur.

5.2 HİLBERT DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA + TERS FİLTRELEME TEKNİĞİ+ GAMMA THRESHOLDİNG -(1D) KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofondan yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, Hilbert Dönüşümüne Dayalı SİA ile bulunmuştur. Ardından sonuca Ters Filtreleme Tekniği+ Gamma Thresholding uygulandıktan sonra sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.3’de verilmektedir.



Şekil 5.3 Hilbert Dönüşümüne Dayalı SİA + Ters Filtreleme Tekniği+ Gamma Thresholding kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı) Grafiği.

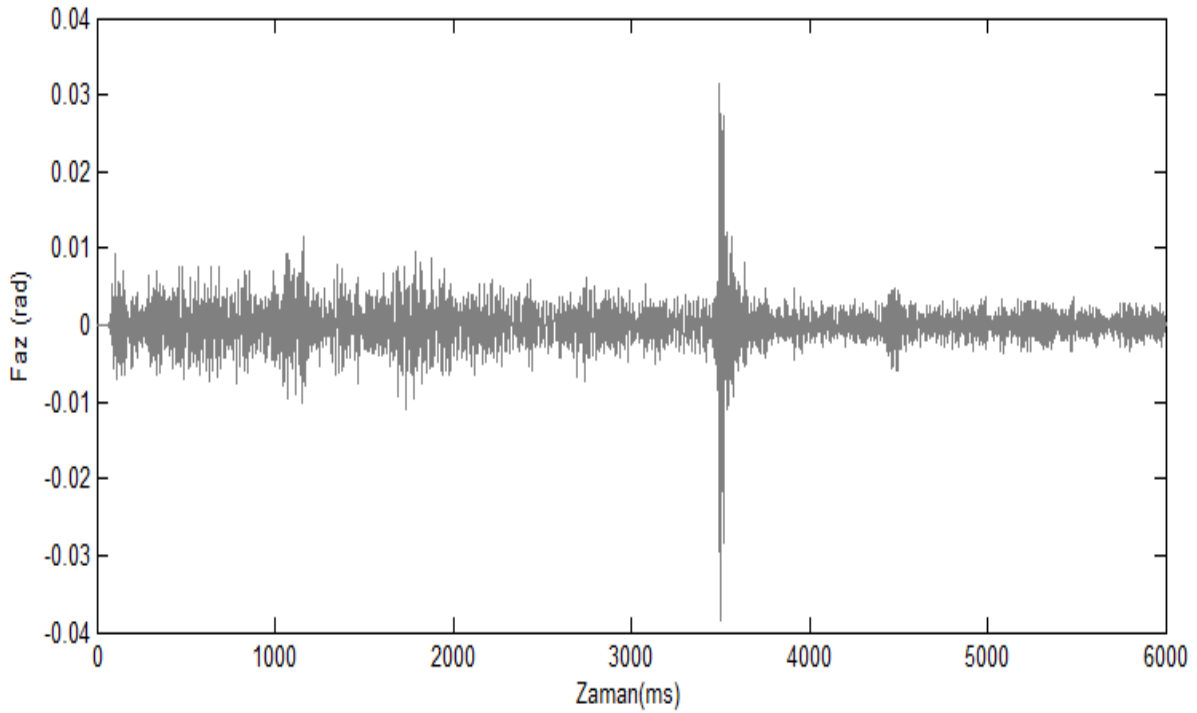
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.3'deki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 85,54 bulunmuştur.

5.3 STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, Stockwell dönüşümüne dayalı SİA ile bulunmuştur. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.34'de sunulmaktadır.



Şekil 5.4 Stockwell dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.4'deki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 71,34 bulunmuştur.

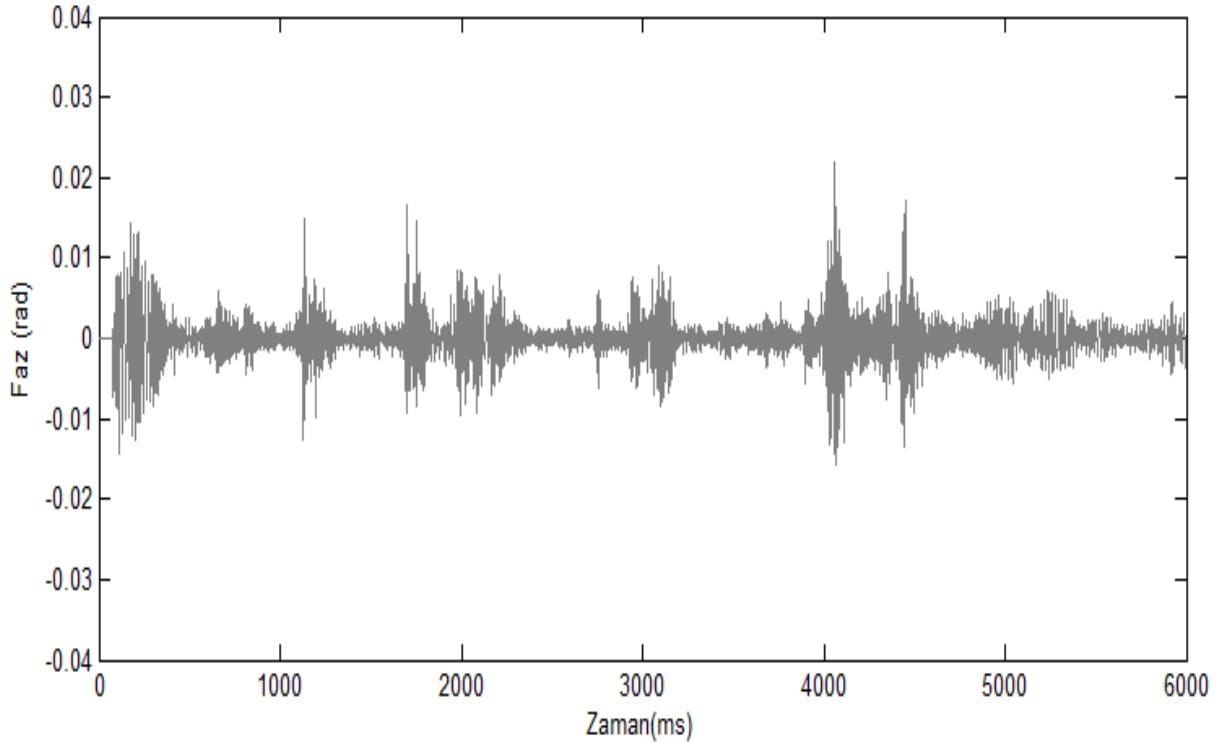
5.4 SÜREKLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI SİA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu çalışmada sürekli dalgacık dönüşümünde kullanılan ‘ana dalgacık’ için farklı dalgacıkların kullanılması hedeflenmiştir. Amaç sistem için hangisinin daha iyi performans gösterdiğini bulmaktır. Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA ile her bir dalgacık için ayrı ayrı bulunarak, sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

5.4.1 ‘cmor’ Dalgacığı ile Elde Edilen Sürekli Dalgacık Dönüşümüne Dayalı SİA Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, ‘cmor’ dalgacığı ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak elde edilmiştir. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.5’de sunulmaktadır.



Şekil 5.5 ‘cmor’ dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

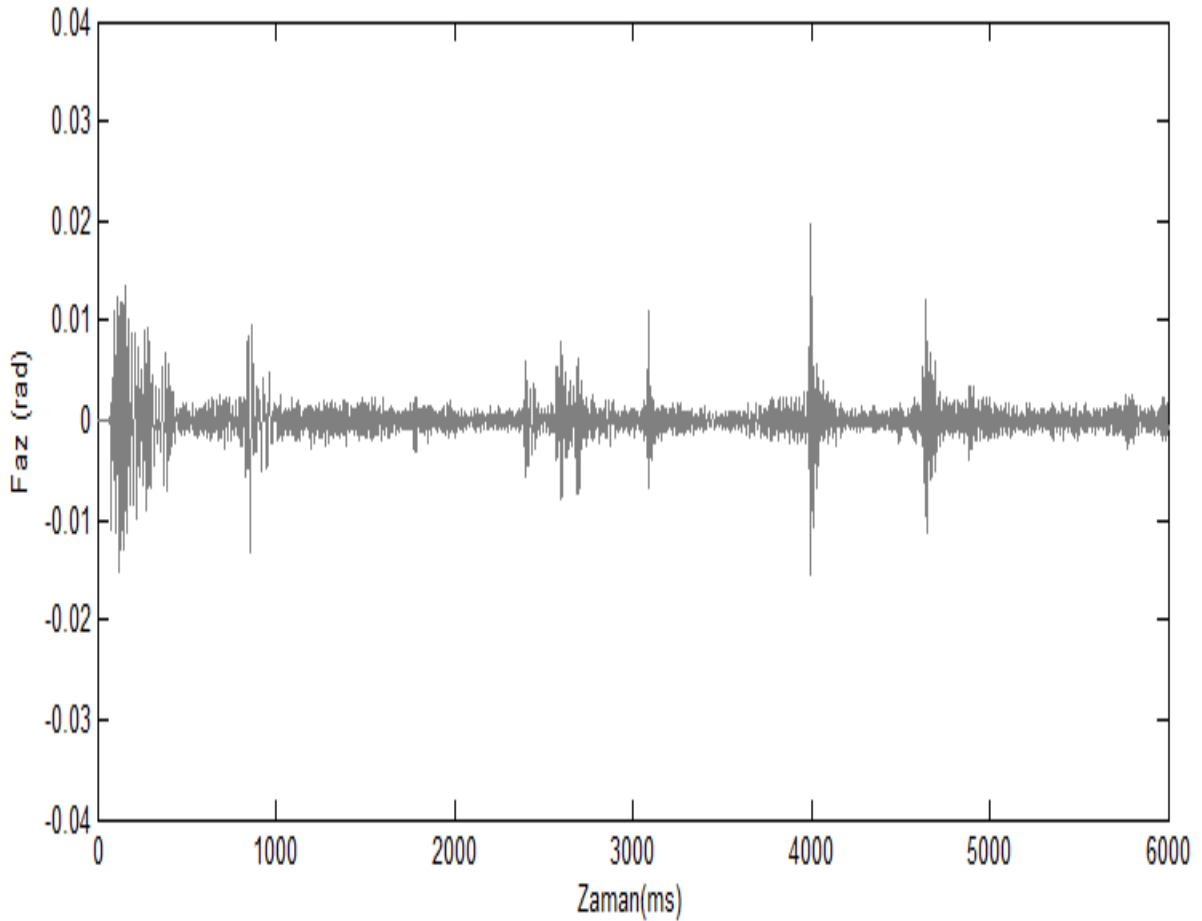
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.5'deki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 63,15 bulunmuştur.

5.4.2 'cgau' Dalgacığı ile Elde Edilen Sürekli Dalgacık Dönüşümüne Dayalı SİA Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000'inci girişim deseninin fazı, 'cgau' dalgacığı ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak elde edilmiştir. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiğı Şekil 5.6'da sunulmaktadır.



Şekil 5.6 'cgau' dalgacıklı sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiğı= Zamansal Faz Dağılımı).

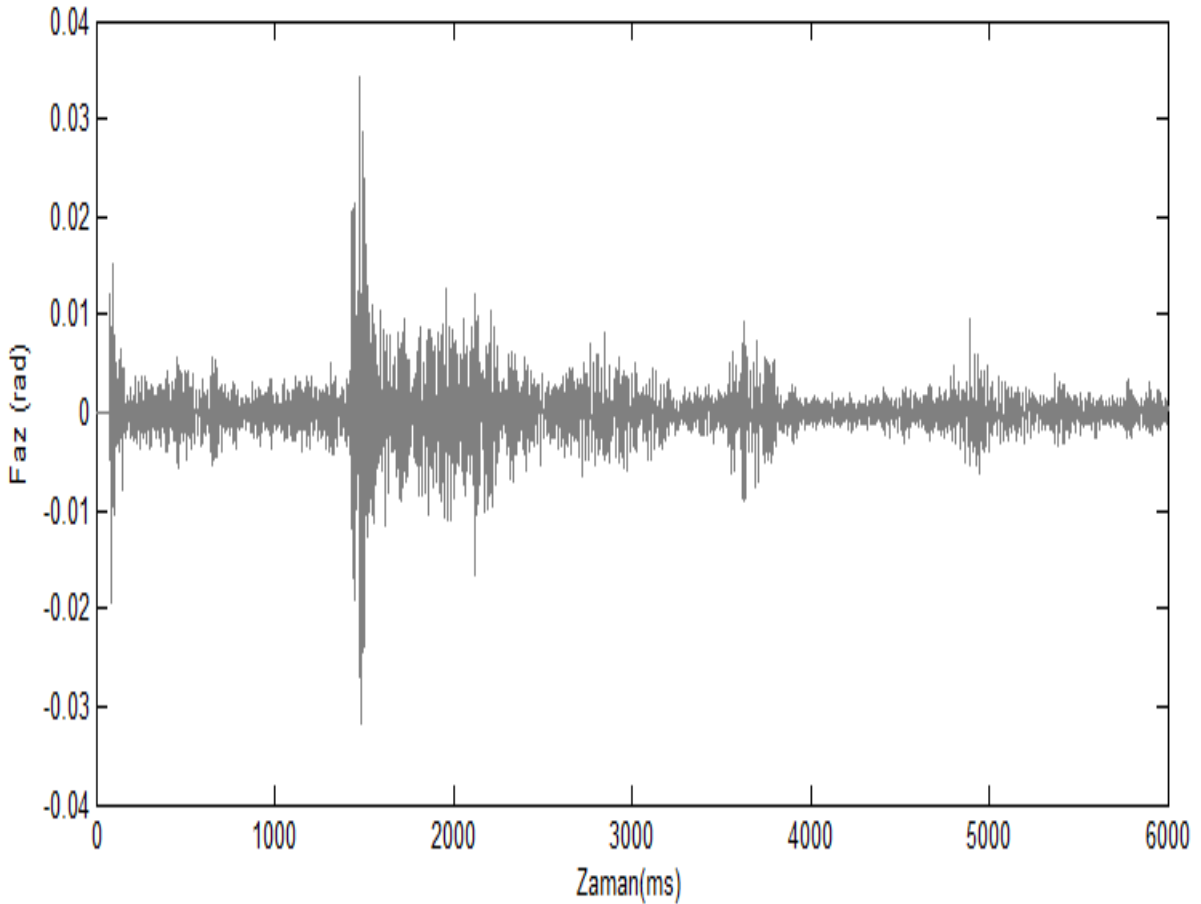
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.6'daki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 58,18 bulunmuştur.

5.4.3 'gau' Dalgacığı ile Elde Edilen Sürekli Dalgacık Dönüşümüne Dayalı SİA Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, 'gau' dalgacığı ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak elde edilmiştir. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.7'de sunulmaktadır.



Şekil 5.7 'gau' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

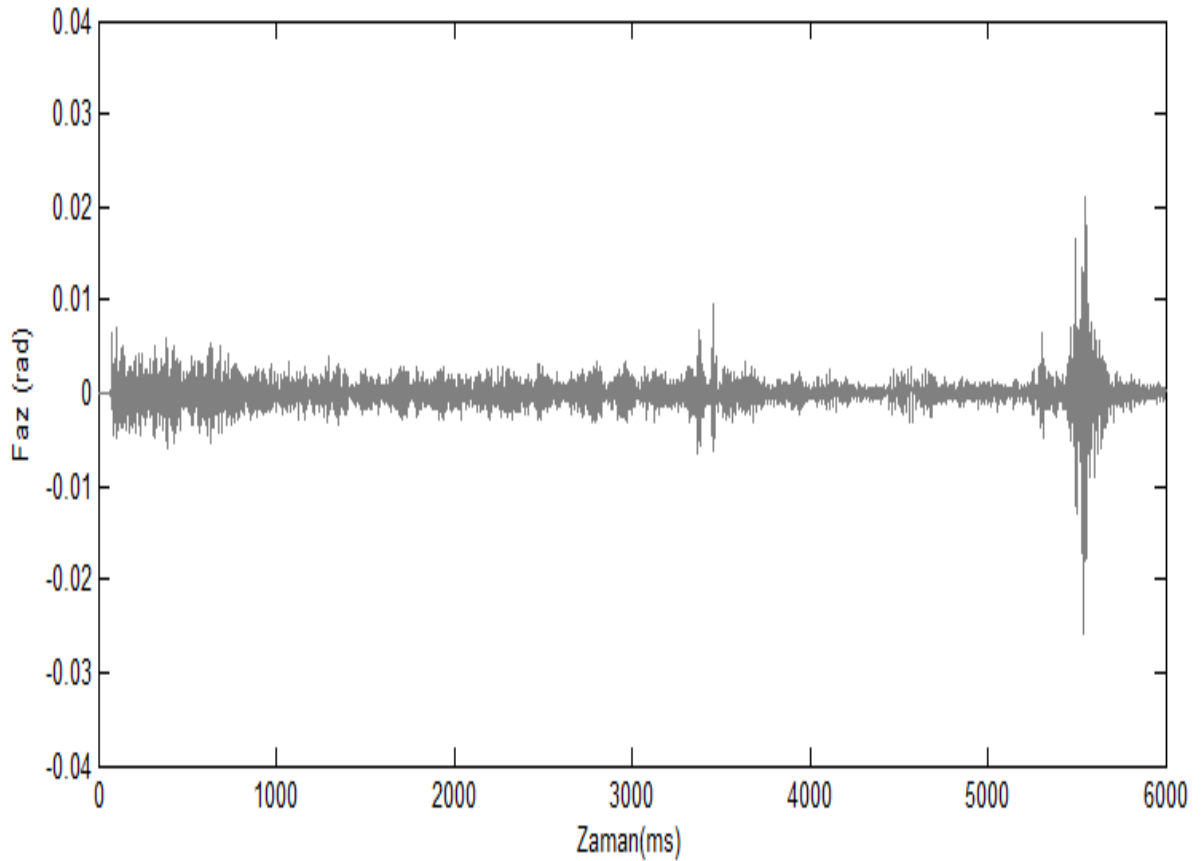
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.7'deki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 58,18 bulunmuştur.

5.4.4 'fbsp' Dalgacığı ile Elde Edilen Sürekli Dalgacık Dönüşümüne Dayalı SIA Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, 'fbsp' dalgacığı ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SIA kullanılarak elde edilmiştir. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.8'de sunulmaktadır.



Şekil 5.8 'fbsp' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SIA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

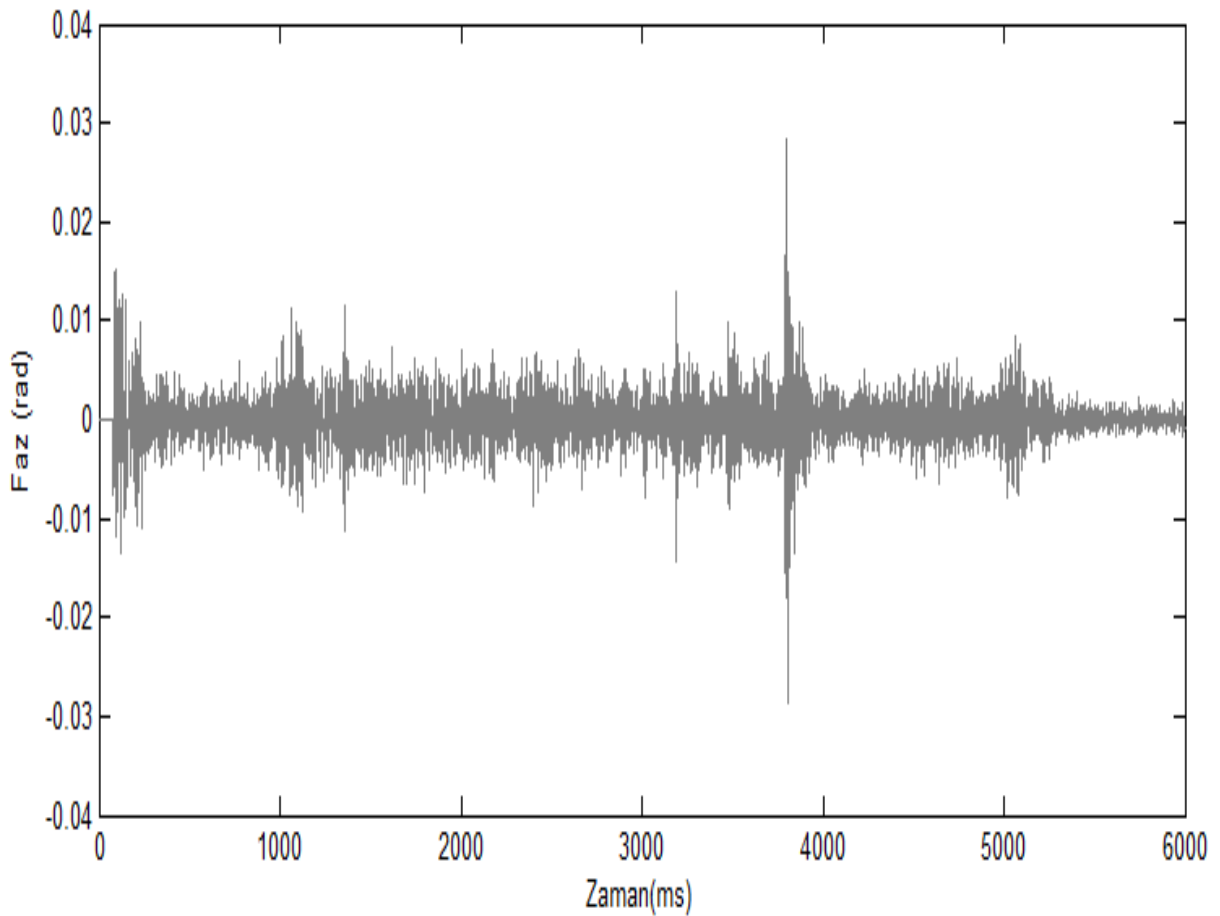
b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.8'deki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 81.97 bulunmuştur.

5.4.5 'mexh' Dalgacığı ile Elde Edilen Sürekli Dalgacık Dönüşümüne Dayalı SİA Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

a- Zamansal Faz Dağılımı (Dinlenen Ses Dalgası)

Lazer Mikrofonda yüksek hızlı kamera ile yakalanan 6000 girişim deseninin fazı, 'mexh' dalgacığı ile elde edilen sürekli dalgacık dönüşümüne dayalı SİA kullanılarak elde edilmiştir. Sonra bu faz dağılımlarından sadece seçilen $n(x,y)$ piksellerinin fazı alınarak zamansal faz dağılımı yani sisteme başlangıçta dinlemek için verilen ses dalgası yeniden oluşturulmuştur. Bu ses dalgasının faz-zaman grafiği Şekil 5.9'da sunulmaktadır.



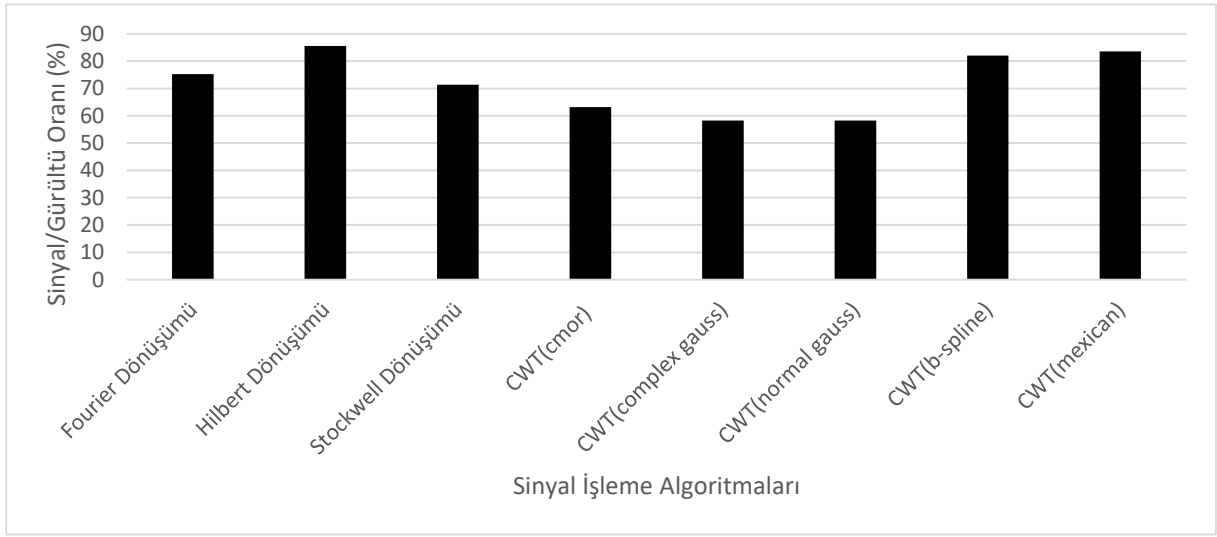
Şekil 5.9 'mexh' dalgacıklı Sürekli dalgacık dönüşümü dayalı SİA kullanılarak yeniden elde edilen ses dalgası (Faz-Zaman Grafiği= Zamansal Faz Dağılımı).

b- Zamansal Faz Dağılımı ve Referans Ses Kullanılarak Hesap Edilen SNR değeri

Şekil 5.9'daki sonuç ve Şekil 5.1'deki referans ses dalgası kullanılarak sistemin SNR değeri % 83.57 bulunmuştur.

5.5 SİA'LARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu bölümde, kullanılan tüm SİA'lardan elde edilen SNR değerlerinin belirtildiği bir tablo gösterilmektedir. Tablo 5.1 ile SNR sonuçları kıyaslanarak sonuçlar kısmında tüm bu değerler yorumlanarak anlatılacaktır.



Tablo 5.1 Sinyal işleme algoritmalarının SNR bazında performans kıyaslaması.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİ

Bu tezde, lazer mikrofona ile elde edilen seste ki sistem gürültüsünün bastırılması amacıyla farklı SİA'ların ve görüntü restorasyonunu gibi başka amaçlarda kullanılan Ters Filtreleme Tekniğinin kullanılması önerilmiştir. Çalışmanın amacı ve kapsamı, önerilmekte olan bu SİA'ların hangisinin lazer mikrofonda ki sistem gürültüsünün daha iyi bastırılabilirdiğini gözlemlemektir. Ters Filtreleme Tekniğinin sistem gürültüsünün bastırılmasında hangi SİA'ya pozitif bir katkıda bulunduğuda denenmiştir. Burada kastedilen sistem gürültüsü : optik gürültü, girişim deseninin elde edilmesinde kullanılan hızlı kameranın yarı iletken gürültüsü, laboratuvar ortamındaki gürültüler şeklinde nitelendirilebilir. Tez çalışmasında istenilen amaca ulaşılmıştır ve Bölüm 5'te verilen Tablo (5.1) ile SİA'ların lazer mikrofonda ki sistem gürültüsünün bastırılmasında ki performanslarını kıyaslamamızı sağlayan veriler elde edilmiştir. Burada ki performans kriteri ise sinyal gürültü oranı olarak kabul edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile literatüre, lazer mikrofona ile elde edilen girişim desenlerinin faz bilgisini elde etmek için hangi SİA kullanımı daha verimli olur fikri kazandırılmıştır.

Tablo (5.1)'deki herbir SİA'ya ait SNR değerine Bölüm 5'te daha detaylı bir şekilde değinilmiştir. Bundan dolayı Sonuç Bölümünde bu değerlerden yorumsal olarak bahsedilmiştir.

Bu kapsamda kullanılan SİA'lar Tablo (5.1) dan yola çıkarak analiz edildiğinde, Ters Filtreleme Tekniği kullanılmış olan Hilbert Dönüşümüne dayalı SİA ve Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA'da "kompleks frekans bierspline" dalgacığının kullanılmasının diğer SİA'lara kıyasla daha yüksek oranlarda SNR değerleri verdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA'da "meksika şapkası" dalgacığının kullanılması da yüksek bir SNR oranına sahiptir ancak gürültü ile birlikte dinlenilmek istenen seste kaybolmuştur ve dinlenebilecek bir ses elde edilememiştir. Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA'da 'cmor' ya da 'complex gauss' kullanılması diğer SİA'lara kıyasla her ne kadar yüksek olmayan bir SNR değeri vermiş olsa da sesin dinlenebilirliğinde kayıpların daha az olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sırasında her SİA'nın çok farklı sürelerde sonuç ürettiği ve

bunlar içerisinde işlem süresi en uzun olanın Sürekli Dalgacık Dönüşümü olduğu gözlemlenmiştir. Elbette çalışmanın amacı ve kapsamı süreye dayalı bir sonuç üretmek değildir. Bu yüzden kıyaslama verileri sadece sinyal gürültü oranı olarak sunulmuştur. Ancak ek bir bilgi olarak bahsedilecek olursa ,tez süresince yapılan tüm çalışma sonucunda görülmüştür ki hızlı bir sonuç elde edilmek isteniyor ise Fourier ve Hilbert Dönüşümüne dayalı SİA kullanılması gerekmektedir. Daha öncede bahsedilmiş olduğu gibi Fourier dönüşümüne dayalı SİA ile oldukça hızlı ve iyi sonuçlar elde edilmektedir. Ancak işlenecek olan her farklı sinyal için “filtre” tasarımı yeniden belirlenip buna göre gürültüler elimine edilmeye çalışılması gerekmektedir ve bu durum Fourier dönüşümüne dayalı SİA’yı bir post processing uygulama kılmaktadır. Bunun aksine Hibert Dönüşümüne dayalı SİA’da bu filtre tasarımı durumuna ihtiyaç duyulmamakla birlikte daha yüksek SNR oranı elde edilmektedir. Dolayısıyla bu sayede reel time olarak çalışabilme imkanı elde edilmektedir. Bu durumun sebebi ise bizim Fourier dönüşümüne dayalı SİA’da “filtre” tasarımı ile uğraşarak elimine etmeye çalışmakta olduğumuz gürültüleri Hilbert Dönüşümüne dayalı SİA’nın yapısı yani algoritmasının, sinyali işlerken negatif sinyalleri elimine etmesidir. Stockwell ve Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA’da , Fourier Dönüşümüne dayalı SİA’daki bu sorun farklı bir şekilde yaşanmaktadır. Bahsi geçen bu fark ‘dalgacık’ların parametrelerinin herbir sinyal için ayarlanmasıdır. Bu parametreler Bölüm 4.1’de anlatılmış olan ‘ölçeklendirme’ ve ‘ilerleme’ parameteleridir. Dolayısıyla Stockwell dönüşümüne dayalı SİA ve Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA’da bir post processing uygulama olmaktadır. Stockwell dönüşümüne dayalı SİA’nın sistem gürültüsünün bastırılması amacıyla kullanılmasında, görüntü işlenmesi gibi alanlarda olduğu kadar başarılı bir sonuç üretmediği tespit edilmiştir. Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA ise herbir “dalgacık” çok farklı sonuçlar üretmekle beraber sinyalin işleme süresinde de farklılıklar yaratmaktadır.

Ters Filtreleme Tekniğinin SİA’lara yaptığı katkılardan bahsedilecek olunursa, hem Stockwell hemde Sürekli Dalgacık Dönüşümüne dayalı SİA’larda Ters Filtreleme Tekniği kullanıldığında daha iyi bir SNR değeri elde etmenin aksine daha kötü değerlere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Fourier Dönüşümüne dayalı SİA’da tasarlanan filtre yapısı ile gürültüler elimine edildiği için 2. bir filtreleme ile konuşma sesinin kalitesi düşürülmek istenmediğinden, Ters Filtreleme Tekniği uygulanmamıştır. Çünkü ses kalitesindeki olumsuz değişim özellikle Stockwell Dönüşümüne dayalı SİA’da gözlemlenmiştir ve Ters Filtreleme Tekniği uygulanması doğru bulunmamıştır. Elbette esas kıstasımız SNR değeri olduğundan SNR değerine pozitif bir katkıda bulunmayış olması bu kararı almamızda belirleyici ana faktör olmuştur. Bu kapsamda, Ters Filtreleme Tekniğinin Sürekli Dalgacık ve Stockwell

Dönüşümüne dayalı SIA'lar da kullanılmasının pozitif bir katkı sağlamayacağı, optimum sürede ve en iyi sonuç elde edilmek isteniyorsa SIA'lar içerisinde Hilbert Dönüşümüne dayalı SIA ile birlikte kullanılması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında SNR üzerine kıyas çalışması yapıldığından konuşma kalitesinin artırılması ya da verinin işleme süresini göz önüne alınması, iyileştirilmesi konularında bir çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışmasının devamı olarak bahsi geçen konularda çalışmalar yapılması düşünülmektedir. Bu kapsamda konuşma sesi için literatürde yer alan modellerin incelenmesi, araştırılması ; işlem hızı için ise python, C# gibi yazılımlar kullanmak ve işlemci üzerinden verileri işlemek yerine ekran kartı üzerinden işleme yapılması gibi yöntemler düşünülmektedir.





KAYNAKLAR

- [1] **Muscatell R P** (1984) “*Laser Microphone,*” U.S. Patent 4,479,265 dated 10.23.1984.
- [2] **Veligdan J T** (2000) “*Laser Microphone,*” U.S. Patent 6,147,787 dated 14.11.2000.
- [3] **Speciale J R** (2001) “*Pulsed Laser Microphone,*” U.S. Patent 6,301,034 B1 dated 09.10.2001.
- [4] **M. Takeda, H. Ina, and S. Kobayashi** (1982) Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry. *J. Opt. Soc. Am*, 72 (1) : 156-160
- [5] **Saraç Z, Birkök H G, Taşkn H, Öztürk E** (2011) Evaluation of thermal lens fringes using Hilbert and Fourier transform methods. *Science, Measurement & Technology*, 5(3): 81 - 87.
- [6] **Saraç Z, Yerdelen S, Dursun A, Saraç H, Ecevit F N** (2007) Processing of thermal lens fringes by S-transform. *Optics Communications*, 271 (2): 349-352.
- [7] **Saraç Z, Dursun A, Yerdelen S, Ecevit F N** (2007) Calculation of Refractive Index Changes from Thermal Lens Fringes using Continuous Wavelet Algorithm. *Optics & Laser Technology* , 39(4): 769-773.
- [8] **Inverse Filtering.** (16.05.2019) *Rice*.
Adres :<http://www.owlnet.rice.edu/~elec539/Projects99/BACH/proj2/inverse.html>.
- [9] **Kraft S, Zölzer U** (2016) Optical techniques for sound processing. *Proc. SPIE*, 9948, 9948-33.
- [10] **Iizuka K** (2008) *Engineering Optics*. Third edition, ISBN: 978-0-387-75723-0, Springer Publisher, New York, 540 pp.
- [11] **Hecht E**, (2017) *Optics*. Fifth Edition, ISBN: 10: 0133977226, Pearson Education Publisher, London 700 pp.
- [12] **Niehoff W, Gorelik V, Hibbing M** (1998) *Optisches Mikrofon*, German Patent DE19835947 A1 dated 27.06.1969.
- [13] **Chenot , Hugues J , Laborelli, Louis , Noiré, Étienne J** (2018) Saphir: Optical Playback of Damaged and Delaminated Analogue Audio Disc Records. *Journal on Computing and Cultural Heritage* , Association for Computing Machinery, 11 (3): 14.1-29.

KAYNAKLAR(devam ediyor)

- [14] **Muscatell R P** (1983) “*Laser Microphone,*”. U.S. Patent 4,412,105 dated 10.25.1983
- [15] **S. Kraft, U. Zölzer** (2016) Optical techniques for sound processing, *Proc. SPIE* , 9948, 9948-33.
- [16] **Shabani, Amin M , Samadfam, Laleh , Sadeghi, Mohammad** (2017) Local Visual Microphones: Improved Sound Extraction from Silent Video. *Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC)*, 01 January 2017, London, England, 102.1-102.13.
- [17] **Harmanci, Yunus , Gülan, Utku , Holzner, Markus , Chatzi and Eleni** (2019) A Novel Approach for 3D-Structural Identification through Video Recording: Magnified Tracking. *Sensors*, 19 (5):1229.
- [18] **Eichas F, Zölzer U** (2016) Modeling of an optocoupler-based audio dynamic range control circuit. *Proc. SPIE* ,9948, 9948-31.
- [19] **Zölzer U** (Ed.) (2011) *DAFX: Digital Audio Effects*. 2nd Edition, ISBN:9780470665992, Wiley Publisher, Chichester, 624 pp.
- [20] **Samatsu T., Sonoda Y.** (2014) SNR Improvement of an Optical Wave Microphone Using a Wavelet Network. *Soft Computing in Machine Learning. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 273: 85-93.
- [21] **Hecht E** (2017) *Optics*. Fifth edition, ISBN:9780133977226, Pearson Education Publisher, London, 720 pp.
- [22] **Wilson J and Hawkes JFB** (2000) *Optoelektronik*. Türkçe çeviri, ISBN: 978-9758289110, Değişim Yayınları, Sakarya, 518 s.
- [23] **Jenkins F A and White H E** (2011) *Fundamentals of Optics*. Fourth edition, ISBN: 9781259002298, McGraw-Hill Higher Education Publisher , New York, 768 pp.
- [24] **Kamer A ve Cemile F** (2001) 18.ve 19. Yüzyıllarda Optik Kuramlar. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıp Tarihi ve Etik Anabilim Dalı, Tekirdağ, 125 s.
- [25] **Yatabe, Kohei , Ishikawa, Kenji , Tanigiva, Risako ,Oikawa and Yasuhiro** (2019) Optical Sound Measurement. *IEICE ESS Fundamentals Review* 12(4): 259-268.
- [26] **Saleh B E A and Teich M C** (2019) Acousto-optics. *Fundamentals of Photonics*, 2. volume set, Wiley Inc Publisher, ISBN : 9781119506874, 1520 pp.
- [27] **Huber, Matthew ,Huber, Nathan , Hoffmeister, Brent , Huber and Thomas** (2018) In Vitro Visualization of Ultrasonic Wave Fronts Interacting with Heel Bones Using Refracto-Vibrometry. *Journal of Undergraduate Reports in Physics*. 28 (1): 100002.

KAYNAKLAR(devam ediyor)

- [28] **Ishikawa K, Yatabe K, Ikeda Y and Oikawa Y** (2015) Numerical analysis of acousto-optic effect caused by audible sound based on geometrical optics. *12th Western Pacific Acoustics Conference*. 6-10 December 2015, Singapore, 165–169.
- [29] **Yaroslavsky L** (2004) *Digital holography and digital signal processing: principles, methods, algorithms*. 1st edition, ISBN:978-3662446928, Springer Publisher, Berlin, 584 pp.
- [30] **Ishikawa K, Yatabe K, Chitanont N, Ikeda Y, Oikawa Y, Onuma T, Niwa H and Yoshii M** (2016) High-speed imaging of sound using parallel phase-shifting interferometry. *Optics Express* 24 (12): 12922-12932.
- [31] **Wang B and Lu W** (2018) An Efficient Amplitude-Preserving Generalized S Transform and Its Application in Seismic Data Attenuation Compensation., *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(2): 859-866.
- [32] **Addison P S** (2016) *The Illustrated Wavelet Transform Handbook, Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance*. Second edition, ISBN : 9781482251326, CRC Press Publisher, Edinburgh, 464 pp.
- [33] **Boashash B and Ouelha S** (2018) Designing high-resolution time–frequency and time–scale distributions for the analysis and classification of non-stationary signals: a tutorial review with a comparison of features performance. *Digital Signal Processing*, 77: 120-152.
- [34] **Kaya G, Saraç Z** (2017) Comparing of phase shifting method and one-dimensional continuous wavelet transform method for reconstruction using phase-only information. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(2): 1597-1587.
- [35] **Wavelet Toolbox**. (16.05.2019) *Wavelet Toolbox User's Guide*.
Adres: http://profesores.elo.utfsm.cl/~mzanartu/IPD414/Docs/wavelet_ug.pdf.
- [36] **Boscaro A et al.** (2015) Improvement of signal to noise ratio in electro optical probing technique by wavelets filtering. *Microelectronics Reliability*, 55(1) 1585-1591.



ÖZGEÇMİŞ

22 Nisan 1992 tarihinde İstanbul'da doğdum ve burada yaşamaktayım. İlkokul ve lise eğitimlerini İstanbul'da tamamladım. 2011 yılında lisans eğitimime Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne başladım. Daha sonra 2016 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra Tesla Otomasyon Mühendislik kurumunda Ankara 'da yaklaşık 6 ay çalıştım. Kendimi akademik olarak geliştirebilmek için 2018 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans programında başladım. 2019 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak ASELSAN-Başaran İleri Teknoloji şirketinde işe başladım ve halen devam etmekteyim. 2020 yılında yüksek lisansımı tamamladım.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: mlsoner@gmail.com