



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FAZ DİZİLİ MİKROFONLARLA BELİRLENEN
KOORDİNATLARDAN SES SEÇİMİ**

İbrahim ÜSTÜN

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY
OCAK-2015**



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAZ DİZİLİ MİKROFONLARLA BELİRLENEN
KOORDİNATLARDAN SES SEÇİMİ

İBRAHİM ÜSTÜN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

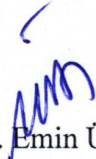
HATAY
OCAK-2015

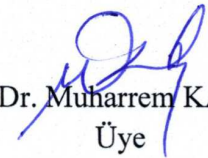
**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

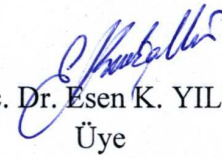
**FAZ DİZİLİ MİKROFONLARLA BELİRLENEN
KOORDİNATLARDAN SES SEÇİMİ**

**İBRAHİM ÜSTÜN
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL danışmanlığında hazırlanan bu tez **09/01/2015** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL
Başkan


Yrd. Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Esen K. YILDIRIM
Üye

Kod No: 785

**Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAAN
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

09/01/2015

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İbrahim ÜSTÜN

ÖZET

FAZ DİZİLİ MİKROFONLARLA BELİRLENEN KOORDİNATLARDAN SES SEÇİMİ

Ses ve/veya konuşma kaydetmede ortam koşulları oldukça belirleyici olan olumsuz etkilere sahiptir. Bu etkilerin bertaraf edilmesi birden çok mikrofon kullanılması sayesinde sağlanabilmektedir. Birden çok mikrofonun kullanımı, mikrofonların yerleşim biçimlerine göre ortam içerisindeki tüm sesleri duyabilme olanağı vermektedir. Ancak, ortamdaki tüm seslerin duyulabilmesi, tüm seslere hâkim olma anlamına gelmemektedir. Zira ortamda birden çok ses kaynağı bulunması ve/veya ortamın yankılama etkisinin yüksek olması gibi durumlarda sesler birbirine karışmakta, kimi sesler örtülmekte, geri planda kalmakta ve anlaşılamamaktadır. Bu durum genel olarak “*kokteyl partisi problemi*” olarak adlandırılmaktadır. Problemin çözümü ise dizesel işaret işleme tekniklerinin çoklu mikrofon kayıtlarına uygulanmasıdır.

Bu çalışmada birden fazla kişinin aynı anda konuştuğu ortamdaki seslerden sadece belirlenen Konumdaki seslerin alınarak istenmeyen seslerin bastırılması hedeflenmiştir. Geometrik olarak farklı noktalara yerleştirilmiş 8 mikrofondan oluşturulan mikrofon dizisi yardımı ile analitik uzayda konumları bilinen 2, 3, 4, 5, 6 ve 8 kişilik konuşmacılardan ses kayıtları alınarak 6 farklı çalışma yapılmıştır. Farklı mikrofonlardan alınan ses sinyallerine uygun gecikme oranları hesaplanmış, filtrele, geciktir ve topla yöntemleri kullanılarak daha kaliteli bir ses sinyali inşa edilmiştir.

2015, 107 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mikrofon dizileri, geciktir ve topla, demetleme, ses kayıt, üst üste binen konuşmalar

ABSTRACT

SOUND SELECTION FROM PRE-DETERMINED DIRECTIONS WITH PHASED-ARRAY MICROPHONES

Conditions of the setting can have quite decisive negative impacts on voice or conversation recording. These unwanted decisive effects can be avoided by using multiple microphones. The use of multiple microphones gives the chance of hearing every sound according to the placements of the microphones. However, hearing all the sound does not mean that having full control over all of them. Since when there are multiple sources of sound and/or there is a high resonance effect in the setting, each sound can mix one other, some of them can be covered up, remain at the background, and so they may not be understood. This situation is generally called cocktail party problem. The solution for this is the application of sequential signal processing techniques on the recordings of multiple microphones.

In this study, it is aimed to cover the sound that are differentiated from the other sound which come from only pre-determined directions in the setting when more than one person talk simultaneously. With the help of microphone array which consists of 8 microphones situated at different locations geometrically, 6 different studies have been conducted after taking voice recordings of groups of 2, 3, 4, 5, 6 and 8 people respectively, of whose locations are known on analytic spaces. Appropriate to audio signals taken from different microphones, lapse rates have been calculated; by using filter, delay and sum, beamforming techniques, more qualified audio signals have been created.

2014, 107 pages

Keywords: Microphone arrays, delay and sum, beamforming, voice recording, Overlapping Speech

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaların takip edilmesinde her türlü yardımı esirgemeyen Dr. Nalan KALKAN'a, Öğr. Gör. İlker İbrahim AVŞAR'a, Öğr. Gör. Mehmet DOĞRULUK'a, İlhan DEREKÖY'e, Öğr. Gör. Salih ÖZER'e, Araştırma Görevlisi Javad Rehabi'ye, tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Sahne ve Gösteri Sanatları Program Başkanlığı'na, National Instruments Türkiye distribütörlüğü'ne, bana kapılarını ve gönüllerini açan Meral ve İsa EFETÜRK ailesine, isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Öğrenim hayatım boyunca yaşadıkları tüm zorluklara rağmen maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen sevgili anneme, babama, kardeşlerime, hayat arkadaşım sevgili eşime, varlıkları ile dünyama renk katan oğlum Eymen'e ve kızım Nehir'e katkıları nedeniyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Mikrofon.....	15
3.1.1. Elektromanyetik mikrofonlar.....	16
3.1.1.1. Dinamik Mikrofonlar	16
3.1.1.2. Şeritli Mikrofonlar	17
3.1.2. Elektrostatik Mikrofonlar	18
3.1.2.1. Kapasitif Mikrofonlar	18
3.1.2.2. Elektret Mikrofonlar	19
3.1.2.3. Piezoelektrik Seramik Mikrofonlar	20
3.1.3. Yönelme Karakteristiklerine Göre Mikrofonlar	20
3.1.3.1. Bir Yöne Duyarlı (Uni-Directional) Mikrofonlar	21
3.1.3.2. İki Yöne Duyarlı Mikrofonlar (Bi-Directional).....	23
3.1.3.3. Her Yöne Duyarlı mikrofonlar (Omni-Directional)	24
3.1.3.4. Çok Desenli Mikrofonlar (Multi-Pattern).....	24
3.1.3.5. Yüzey Mikrofon.....	25
3.2. Ses ve Duyum.....	25
3.2.1. Ses Yayılımı.....	26
3.2.2. Sesin Hızı.....	27
3.2.3. Desibel Kavramı	28
3.2.4. Ses Güç Düzeyi.....	28
3.2.5. Ses Şiddeti Düzeyi.....	29
3.2.6. Ses Basınç Düzeyi	29
3.3. Dizisel İşaret İşleme Uygulama Alanları	31
3.3.1. Radar ve Sonar Sistemleri.....	31
3.3.2. Tıp Uygulamaları.....	33
3.3.3. Kablosuz Haberleşme	34
3.3.4. Konuşma İyileştirme.....	35
3.4. YÖNTEM	36
3.4.1. Mikrofon Dizileri.....	36
3.4.2. Demet Oluşturma.....	37
3.4.3. Analitik Uzay.....	40
3.4.4. İki elemanlı mikrofon dizisi için gecikme hesaplama	41
3.5. Yazılım	43
3.5.1. Cubase.....	43
3.5.2. Matlab	44
3.6. Donanım	45

3.6.1.	Ses kartı.....	45
3.6.2.	FMD’de kullanılan mikrofon.....	46
3.6.3.	Veri toplama sistemleri kartı.....	47
3.6.4.	Geliştirilen sistemler	48
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	53
4.1.	İki Konuşmacı Arasından Ses Seçimi	54
4.2.	Üç konuşmacı Arasından Ses Seçimi	63
4.3.	Dört konuşmacı Arasından Ses Seçimi	68
4.4.	Beş Konuşmacı Arasından Ses Seçimi.....	73
4.5.	Altı konuşmacı Arasından Ses Seçimi	78
4.6.	Sekiz konuşmacı Arasından Ses Seçimi.....	84
5.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	91
	KAYNAKLAR	95
	EKLER.....	97
	EK 1. 3 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları.....	97
	EK 2. 4 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları.....	98
	EK 3. 5 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları.....	100
	EK 4. 6 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları.....	102
	EK 5. 8 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları.....	104
	ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Örnek kokteyl partisi problemi.....	4
Şekil 2.1	K adet mikrofondan oluşan bir alıcı dizisi	5
Şekil 2.2.	Kulaklıkta faz dizi mikrofon kullanımı için işlem zinciri	9
Şekil 2.3.	faz dizi mikrofon deneysel kulaklık	10
Şekil 2.4.	MIT tarafından geliştirilen 1020 adet mikrofondan oluşan dünyadaki en büyük mikrofon dizisi(Çontar, 2007)	11
Şekil 2.5.	1020 adet mikrofondan oluşan mikrofon dizisi yerleşim planı (Çontar, 2007).....	11
Şekil 2.6.	Uygunluk fonksiyonunun SGO değeri alınması ile elde edilen sonuç (Çontar, 2007).....	12
Şekil 2.7.	Uygunluk fonksiyonu ortalama değer seçilmesi ile elde edilen sonuç(Çontar, 2007)	12
Şekil 2.8.	Ses kaynağını bulurken farklı iterasyonlar dan görünüm (Sezen, 2010).....	13
Şekil 2.9.	konusmacının x değerinin hesaplanması (Sezen, 2010).....	14
Şekil 3.1.	Mikrofonların çalışma yapısı olarak gruplara ayrılışı	16
Şekil 3.2	(a) Dinamik mikrofon çalışma prensibi.....	17
Şekil 3.2	(b) Dinamik mikrofon.....	17
Şekil 3.3.	a) Şeritli mikrofonun çalışma prensibi diyagramı	18
Şekil 3.3.	(b) MXL R144 Şerit mikrofon	18
Şekil 3.4.	(a) Kapastif mikrofonun çalışma prensibini gösteren diyagram	19
Şekil 3.4.	(b) Kapastif mikrofon (Rode NT5).....	19
Şekil 3.5.	(a) Elektret mikrofonlar	20
Şekil 3.5.	(b) Sterio elektret mikrofon	20
Şekil 3.6.	Mikrofonların Yönelme Karakteristiklerine Göre gruplara ayrılışı	21
Şekil 3.7.	Yüresel mikrofonu ait kutupsal desen	22
Şekil 3.8.	Süper yüresel mikrofonu ait kutupsal desen	22
Şekil 3.9.	Hiper yüresel mikrofonu ait kutupsal desen	23
Şekil 3.10.	İki yönlü sekizsel mikrofonu ait kutupsal desen.....	23
Şekil 3.11.	İki yönlü yönsüz mikrofonu ait kutupsal desen.....	24
Şekil 3.12.	Kondansatör mikrofon (AKG C414).....	24
Şekil 3.13.	Sesin havada yayılması.....	25
Şekil 3.14.	Birim alandan yayılan ses enerjisi.....	29
Şekil 3.15.	Çok fonksiyonlu Faz Dizi Radar(MPAR)	31
Şekil 3.16.	Hava Radarı(SPS – 49).....	32
Şekil 3.17.	Sonar ile kaynak tespiti	33
Şekil 3.18.	Ses dalgalarından faydalanılarak elde edilen ultrason görüntüsü.....	34
Şekil 3.19.	Metropol alanlarda kullanılan kablosuz haberleşme teknolojisi(WiMAX, IEEE 802,16).....	35
Şekil 3.20.	Ses dalgasının mikrofon dizisine farklı zamanlarda varışı.....	37
Şekil 3.21.	Örnek bir kayıt ortamında hedef ses kaynağı, engeller, gürültü kaynakları ve mikrofon dizisi.....	38
Şekil 3.22.	Geciktir ve Topla Tekniği	39
Şekil 3.24.	Analitik uzayda 2 elemanlı mikrofon dizisi ve kaynak yerleşim planı ...	41
Şekil 3.25.	Cubase’de 8 kanal ses kaydı.....	43

Şekil 3.26.	a) Matlab mesh komutu ile üretilmiş 2 boyutlu 3D wireframe grafiği....	44
Şekil 3.26.	(b) Matlab surf komutu ile üretilmiş 2 boyutlu 3D surface grafiği	44
Şekil 3.27.	Geliştirilen programın ara yüz görüntüsü.....	45
Şekil 3.28.	8 kanal ses kartı steinberg ur 824	46
Şekil 3.29.	kapasitif mikrofon rode nt5s.....	47
Şekil 3.30.	Veri toplama sistemleri kartı (Nİ 6221)	47
Şekil 3.31.	Geliştirilen mikrofon dizisi arası kesitler cm cincinden.....	49
Şekil 3.32.	Sistem 1 bağlantı şeması	50
Şekil 3.33.	Sistem 2 bağlantı şeması	51
Şekil 3.34.	Sistem 3 bağlantı şeması	52
Şekil 4.1.	Geliştirilen 8 Elemanlı mikrofon dizisi(FMD).....	54
Şekil 4.2.	FMD ve iki konuşmacının analitik uzayda gösterimi.....	55
Şekil 4.3.	1,2,3 ve 4 numaralı mikrofonlara ait giriş sinyal görüntüsü.....	57
Şekil 4.4.	5,6,7 ve 8 numaralı mikrofonlara ait giriş sinyal görüntüsü.....	58
Şekil 4.5.	FMD' ye ait sinyallerin filtrelenmiş görüntüsü.....	59
Şekil 4.6.	FMD'ye ait sinyallerin toplam sinyal görüntüsü.....	60
Şekil 4.7.	Filtrelenen FMD'ye ait sinyallerin 2. Konuşmacıya göre geciktir ve topla uygulanması sonucu oluşan toplam sinyal görüntüsü	60
Şekil 4.8.	Mikrofon Dizisi ve Üç konuşmacının analitik uzayda gösterimi	63
Şekil 4.9.	FMD sinyallerine filtre, geciktir ve topla uygulanmış sinyaller görüntüsü	64
Şekil 4.10.	Mikrofon Dizisi ve dört konuşmacının analitik uzayda gösterimi	68
Şekil 4.11.	FMD dördüncü Konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü.....	69
Şekil 4.12.	Mikrofon Dizisi ve beş konuşmacının analitik uzayda gösterimi	73
Şekil 4.13.	FMD' de beşinci Konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü.....	74
Şekil 4.14.	Mikrofon Dizisi ve altı konuşmacının analitik uzayda gösterimi	78
Şekil 4.15.	FMD'de altıncı konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü.....	79
Şekil 4.16.	Mikrofon Dizisi ve sekiz konuşmacı.....	84
Şekil 4.17.	Mikrofon Dizisi ve sekiz konuşmacı analitik uzay modellemesi.....	85
Şekil 4.18.	FMD' de sekiz konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü.....	86
Şekil 5.1.	Geliştirilen 8 elemanlı mikrofon dizisi.....	91
Şekil 5.2.	Mikrofon sinyallerine sırasıyla 7-10-5-13-0-9-4-6 örnekleme adedi kadar gecikme uygulamasının sayısal yansıması verilmiştir.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Ses basınç düzeyi değerleri	30
Çizelge 3.2.	2 elemanlı mikrofona dizisi ve kaynak koordinatları	42
Çizelge 3.1.	Sistem 1 Maliyet Tablosu	48
Çizelge 3.2.	Sistem 2 Maliyet Tablosu	48
Çizelge 3.3.	Sistem 3 Maliyet Tablosu	49
Çizelge 4.1.	FMD koordinatları	55
Çizelge 4.2.	İki Konuşmacının koordinatları	56
Çizelge 4.3.	İki konuşmacıya göre FMD'ye uygulanacak gecikme miktarları.....	56
Çizelge 4.4.	İki konuşmacı için filtrelenen FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	61
Çizelge 4.5.	İki konuşmacı içerisinde birinciye göre demetleme yapılan FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	61
Çizelge 4.6.	İkinci konuşmacıya göre FGT uygulanan FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	62
Çizelge 4.7.	Üç Konuşmacının koordinatları	63
Çizelge 4.8.	Üç konuşmacı için filtrelenen FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	65
Çizelge 4.9.	Üç konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	65
Çizelge 4.10.	Üç konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT Uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	66
Çizelge 4.11.	Üç konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT Uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	66
Çizelge 4.12.	Üç Konuşmacının koordinatları	68
Çizelge 4.13.	Dört konuşmacı için filtrelenen FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	70
Çizelge 4.14.	Dört konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	70
Çizelge 4.15.	Dört konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	71
Çizelge 4.16.	Dört konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	71
Çizelge 4.17.	Dört konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri	72
Çizelge 4.18.	Beş Konuşmacının koordinatları.....	73
Çizelge 4.19.	Beş konuşmacı için filtrelenen FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	75
Çizelge 4.20.	Beş konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	75
Çizelge 4.21.	Beş konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	76
Çizelge 4.22.	Beş konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	76
Çizelge 4.23.	Beş konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri	76

Çizelge 4.24.	Beş konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	77
Çizelge 4.25.	Altı Konuşmacının koordinatları.....	78
Çizelge 4.26.	Altı konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	80
Çizelge 4.27.	Altı konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	80
Çizelge 4.29.	Altı konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	81
Çizelge 4.30.	Altı konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	81
Çizelge 4.31.	Altı konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	82
Çizelge 4.32.	Altı konuşmacı içerisinde altıncıya göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	82
Çizelge 4.33.	Altı Konuşmacının koordinatları.....	85
Çizelge 4.34.	Sekiz konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	87
Çizelge 4.35.	Sekiz konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	87
Çizelge 4.36.	Sekiz konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	88
Çizelge 4.37.	Sekiz konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	88
Çizelge 4.38.	Sekiz konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	88
Çizelge 4.39.	Sekiz konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	89
Çizelge 4.40.	Sekiz konuşmacı içerisinde altıncıya göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	89
Çizelge 4.41.	Sekiz konuşmacı içerisinde yedinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	89
Çizelge 4.42.	Sekiz konuşmacı içerisinde sekizinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri.....	90

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	: Akım (Amper)
F	: Kuvvet (Newton)
P	: Güç (Watt)
R	: Direnç (Ohm)
T	: Sıcaklık (Kelvin)
V	: Gerilim (Volt)
Pa	: Pascal
m	: Metre
cm	: Santimetre
Hz	: Hertz
Khz	: Kilo Hertz
Db	: Desibel
μ	: Micro
Mv	: Mili Volt
C ⁰	:Sıcaklık (Santigrat)

Kısaltmalar

FMD	: Faz Mikrofon Dizisi
SGO	: Sinyal Gürültü Oranı
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
AFAC	: Ses Frekans Alternatif Akım (Audio Frequency Alternating
SGD	C.)
SGO	: Ses Güç Düzeyi
	: Sinyal Gürültü Oranı
SSD	: Ses Şiddeti Düzeyi
SBD	: Ses Basınç Düzeyi
GPS	: Küresel Konumlanma Sistemi (Global Positioning System
NMR	: Nükleer Manyetik Rezonans
FET	: Alan Etkili Transistör (Field Effect Transistör)
ASIO	: Ses Akışı Giriş / Çıkış (Audio Stream Input/Output)
FGT	: Filtrele- Geciktir-Topla (Filter-Delay and Sum)
MPAR	: Çok fonksiyonlu Faz Dizi Radar(Multi-Function Phased Array)

1. GİRİŞ

Ses ve/veya konuşma kaydetmede ortam koşullarının ses sinyalleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu etkilerin bertaraf edilmesi birden çok mikrofon kullanılması ile sağlanabilmektedir. Birden çok mikrofonun kullanımı ortam içerisindeki tüm sesleri duyabilme olanağı vermektedir. Ancak, ortamdaki tüm seslerin duyulabilmesi, tüm seslere hâkim olunması anlamına gelmemektedir. Zira ortamda birden çok ses kaynağı bulunması ve/veya ortamın yankılama etkisinin yüksek olması gibi durumlarda sesler birbirine karışmakta, kimi sesler örtülmekte, geri planda kalmakta ve anlaşılamamaktadır. Bu durum genel olarak şekil (1.1.)’de görüntüsü verilen “*kokteyl partisi problemi*” olarak adlandırılmaktadır. Problemin çözümü ise dizisel işaret işleme tekniklerinin çoklu mikrofon kayıtlarına uygulanmasıdır.

Bir diğer önemli problem de ses kaynağı ve/veya konuşmacının hareketli olması durumu veya bir başka ifadeyle kayıt esnasında yer değiştiriyor olması durumudur. Bu durumda da kayıt edilen ses ve/veya konuşmanın kalitesi sabit olamamakta ve zaman içerisinde istenmeyen gürültülere maruz kalabilmektedir. Nitekim konuşmacının bulunacağı her farklı konum, farklı gürültü kaynakları, bozucular ve/veya yansıtıcı nesneleri beraberinde getirmektedir. Bu tür bir problemin çözümü de yine dizisel işaret işleme yöntemlerine başvurarak çoklu mikrofon kayıtlarının işlenmesi ile mümkün olabilmektedir.

Dizisel işaret işleme, “*temel olarak birçok algılayıcıdan alınan verilerin, algılayıcıların uzaysal yerleşimlerine göre işlenmesi*” olarak tanımlanabilir. Dizisel işaret işlemede hedeflenenler ise; kaynakların sayı ve konumlarının belirlenmesi, işaret gürültü oranının iyileştirilmesi ve birden fazla hareketli kaynağın takibi olarak özetlenebilir. Radar, sonar, sismik araştırmalar, tomografi ve kablosuz iletişim gibi alanlarda kullanılan dizisel işaret işleme, hem alıcı hem de verici dizileri için uygulanabilmektedir. Yayılmak istenen işaretler belirlenen yönelimdeki belirlenen hedefe ulaştırılabilmektedir. Dizisel işaret işlemenin gerçekleştirilebilmesi için bazı ön kabuller yapılmaktadır. Bunlardan ilki, kaynaktan çıkan enerjinin tüm yönlere düzenli bir şekilde yayıldığı ve ortamın enerjiyi dağıtmadığının varsayılmasıdır.

İstenilen koordinatlardan daha kaliteli bir ses elde etmek için aynı kaynaktan çıkan sesin mikrofon dizisinde bulunan alıcılara farklı zamanlarda ulaşacağı

prensibinden yola çıkarak, alınan ses sinyallerine uygun gecikme oranları uygulanarak üst üste toplanması işlemi kullanılabilir. Bu işlem, mikrofon dizileri ile demetleme olarak adlandırılmaktadır.

Bu işlemi açıklamak için Birden fazla konuşmacının bulunduğu bir düğün salonu düşünelim. Bu salonundaki sesler:

- Müzik aletlerinden çıkan sesler,
- Masalarda oturan kişilerin sesleri,
- Sahnedeki kişilerin sesleri,
- Masa ve sandalyelerin gıcırtaıları,
- Salon dışında oluşan sesler,
- Gürültüler,

gibi öğelerden oluşabilir, bu tür salon ve benzeri yerlerde büyük bir ses karışıklığı ve gürültü kirliliği yaşanmaktadır. Böyle ortamlarda kişiler kendi masalarındaki konuşmacıları dahi anlayamazlar. Öyle ki bu ve benzeri ortamlarda ses kaydı ve ses dinlemesi yapmak neredeyse mümkün değildir.

Bu tez çalışmasının amacı, ses kayıt ve müzik Teknolojilerinde, FMD (Faz Mikrofon Dizisi) kullanarak ortamdan alınacak tek bir ses kaydıyla sadece istenen noktaların ses kayıtlarının çıkartılması ve dinlenebilmesidir.

Bu bağlamda analitik uzayda konumları bilinen, aynı anda aktif olarak konuşan iki, üç, dört, beş, altı ve sekiz kişilik konuşmacılardan oluşan 6 farklı deney ile 3 boyutlu uzayda istenilen noktadan ses seçimi yapılması amaçlanmıştır. Ses seçimi yapabilmek için demetleme yöntemi olarak “*geciktir ve topla tekniği*” kullanılmıştır. Çıktı olarak elde edilen sinyallerin sinyal enerjileri ham sinyallerin doğrudan toplanması ile oluşan sinyaller karşılaştırılarak kazanım oranı hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasının amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 8 adet mikrofon kullanarak faz mikrofon dizisi oluşturmak,
- Mikrofon dizileri kullanılarak aynı anda sabit konuşmacıların olduğu 3 boyutlu uzayda istenilen konumdaki konuşmacının ses sinyalinin güçlendirmek, diğer sinyalleri zayıflatmak,
- Mikrofon dizileri ile Matlab ve Cubase kullanılarak ses kaydı almak,
- Analitik uzayda ses seçimi yapılacak noktalar için konumları bilinen, mikrofon dizisi sinyallerine uygulanacak gecikme miktarlarını hesaplamak.

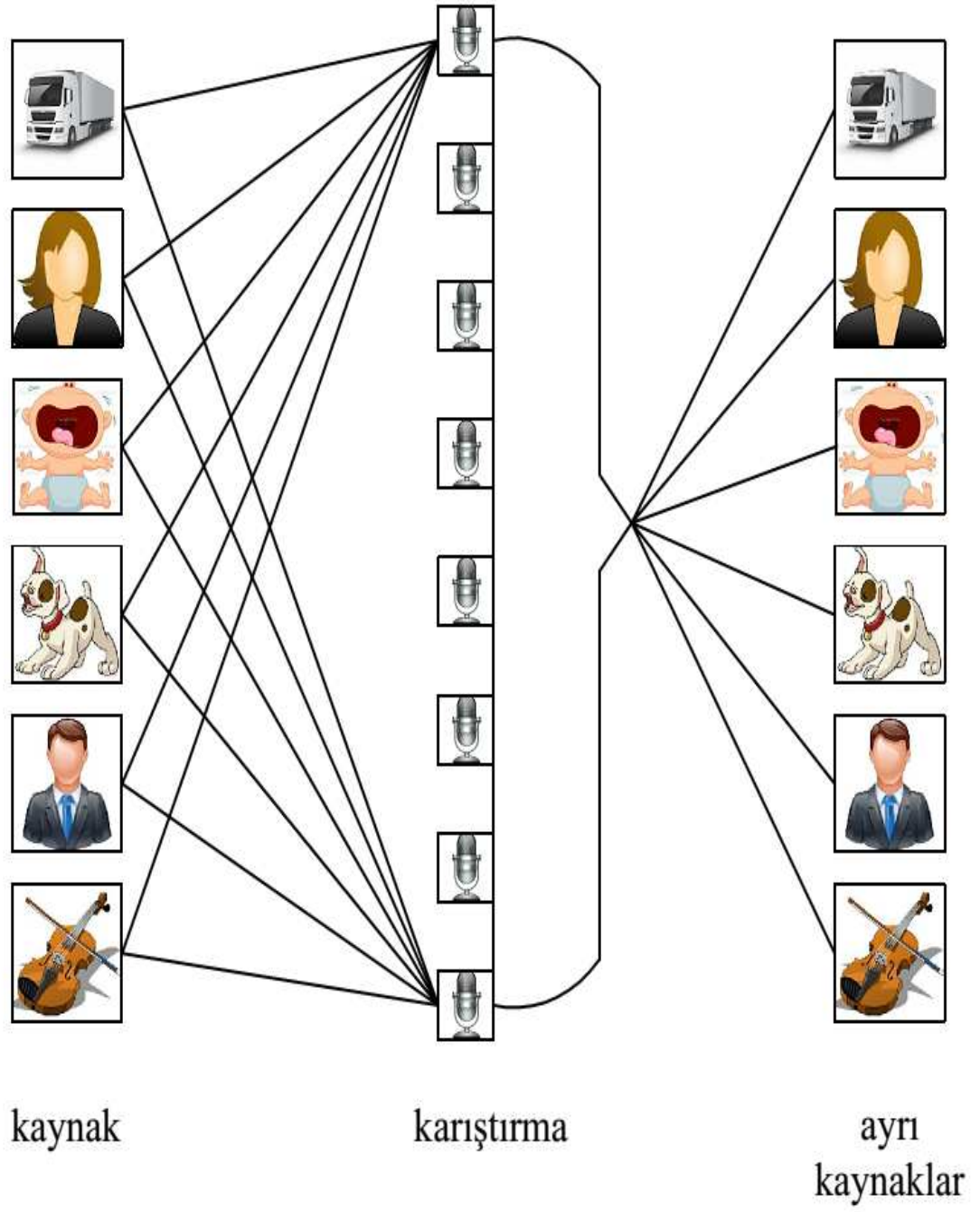
- İstenmeyen gürültüleri 250 Hz-3000 Hz konuşma frekansı bölgesi için alçak ve yüksek geçiren filtre yöntemi kullanarak temizlemek,
- Demetleme yöntemi olarak geciktir ve toplamı yöntemini kullanmak,
- Sinyallerin tüm elemanlarının kareleri toplamını alarak sinyal enerjilerini bulmak,
- Sinyallerin en büyük genlik değerlerini bulmak,
- Sinyal enerjilerini ve en büyük değerlerini kullanarak karşılaştırmalar yapmak,
- Yukarıda listelenen amaçları iki, üç, dört, beş, altı ve sekiz konuşmacı için tekrarlamak.

Tez çalışmasının 2. Bölümünde literatür özeti başlığı altında bugüne kadar konusu ile ilgili yapılmış olan bilimsel çalışmalar ve sonuçları yer almaktadır.

3. bölümde ise materyal ve yöntem başlığı altında, çalışma konusu olan mikrofonlar ve ses dalgaları hakkında detaylı teorik bilgiler verilmiştir. Öncelikli olarak öne çıkan dizisel işaret işleme uygulama alanları ile ilgili bilgilerin yanında mikrofon dizilerinin kullanım alanları ve hüzmeye şekillendirici olarak kullanılacak olan geciktir ve topla tekniği anlatılmıştır. Ayrıca çalışmanın yapılabilmesi için sinyallere uygulanacak gecikme miktarlarının hesaplanmasında kullanılan analitik uzayda 2 nokta arasında uzaklık bulma yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak ise kullanılan donanım ve yazılımlar şekiller ışığında anlatılmıştır.

4. bölümde, araştırma bulguları ve tartışma başlığı altında, ikili, üçlü, dördü, beşli, altılı ve sekizli konuşmacılarla yapılan deneysel çalışmalar ve çalışmalar sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler eşliğinde yer almıştır.

5. bölümde, sonuç ve değerlendirme başlığı altında çalışma sonucunda ulaşılan çok önemli bulgular ve bulgulara dayalı öneriler yorumlanarak değerlendirilmiştir

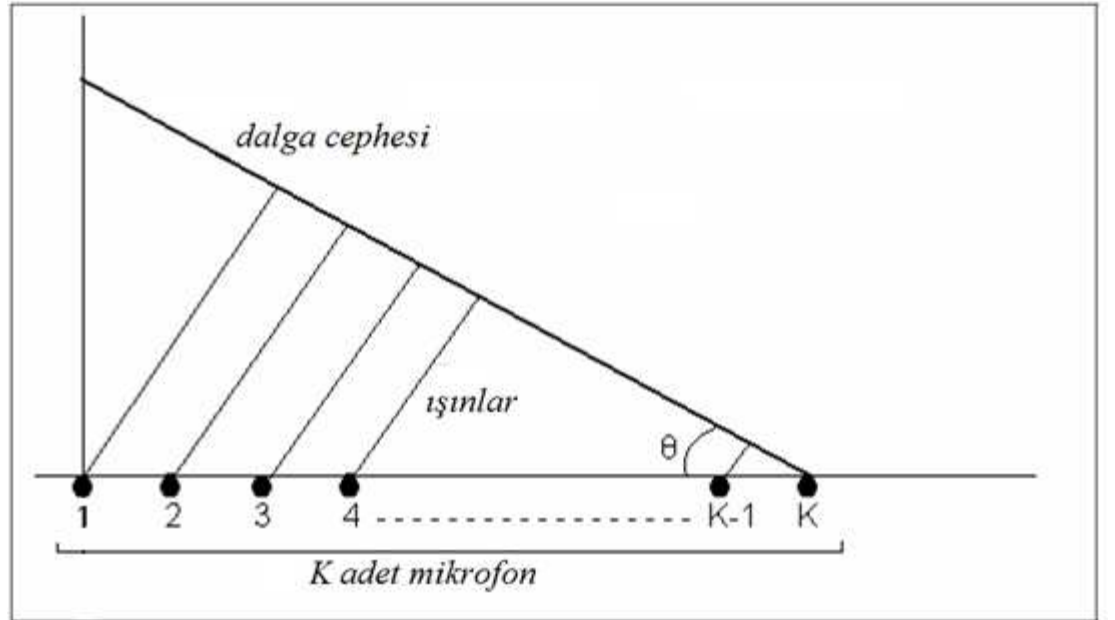


şekil 1.1. Örnek kokteyl partisi problemi

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde, mikrofon dizileri kullanılarak ve dizisel işaret işleme yöntemleri uygulanarak ses kaynağının yerini belirleme üzerine yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş ve özetlenmiştir. İlk aşamada faz farklı dizilerden ve karşılaşılan güçlüklerden söz edilecek ve daha sonra yapılmış çalışmalara yer verilecektir.

Visser, (2005), faz aralıklı dizilen mikrofonlar için şöyle bir temel model öne sürmektedir. Şekil 2,1’de görüldüğü gibi K adet mikrofondan oluşan bir alıcı dizisi θ açısı altında bir düzlemsel ses dalgasına maruz kalıyor olduğu durumu ele alalım.



Şekil 2.1 K adet mikrofondan oluşan bir alıcı dizisi

Burada dalga cephesi mikrofon dizisine belirli bir θ açısı ile yaklaştığından dolayı ses dalgası dizideki mikrofonların her birine aynı zamanda ulaşmayacaktır. Alıcılar arasında d mesafesinin bulunduğunu ve bu mesafenin eşit olduğunu kabul edersek ses dalgası K mikrofonuna ulaştığında, K-1 mikrofonuna ulaşmak için fazladan bir $d \sin(\theta)$ kadar yol kat etmesi, K-2 numaralı mikrofona ulaşmak için ise $2d \sin(\theta)$ 'lık bir mesafeyi aşması gerekmektedir.

Ses dalgalarının zamanda ve uzayda periyodik olduğu var sayılırsa, mikrofon dizisine ulaşan ses dalgaları farklı alıcılarda farklı fazlarla algılanacaktır. Her θ açısı

için değişik faz farkı kombinasyonları elde edilecektir. Dolayısı ile mikrofon dizisindeki her bir elemandan alınan kayıta faz kaydırma uygulanabilir. Bu durumda dizideki tüm elemanlardan alınan ve fazları kaydırılmış olan kayıtlar toplandığında, belirli bir θ açısı için olumlu bir birleşim meydana gelecektir.

Alıcılar arasında bırakılan boşluklar mikrofon dizisinin performansında belirleyici bir etken teşkil eder. Visser, (2005), belirttiği gibi doğrusal bir dizide mikrofonlar arasındaki mesafe arttıkça ana ışın demeti küçülmektedir. Bununla birlikte alıcılar arasındaki boşlukların arttırılması gelişigüzel gerçekleştirilemez. Zira kritik uzaklık aşıldığında ekstra ana demetler ortaya çıkacaktır.

Yukarıda ses dalgasının düzlemsel olduğunu varsaymıştık. Bu varsayım mikrofonların, ses kaynağının uzak alan bölgesine yerleştirilmesi durumunda geçerlilik kazanır. Bu bölge için koşul ise denklem (2.1.)’de şöyle ifade edilir(McGowan, 2001).

$$d = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.1.)$$

Burada, kritik d mesafesinin elde edilmesi, kaynağın açıklığı ‘ L ’ ve dalga boyu ‘ λ ’ parametrelerine bağlıdır.

McGowan, (2001)’e göre belirli bir θ yönünden gelen tüm ses kaynaklarını algılayabilmek için mikrofonların yönlendirilmesi işlemine demet oluşturma adı verilir. Demet oluşturma işleminde parametrelerin belirlenmesi, uyarlanabilir veya sabit olarak iki yolla gerçekleştirilebilir. Sabit yöntemlerde parametreler başta bir kez tanımlanırken uyarlanabilir yöntemlerde alınan işaretlere bağlı olarak parametreler uyarlanır ve güncellenir. Bununla birlikte, demet oluşturma tekniklerinde ortamdaki gürültü ile ilgili yapılan kabuller de belirleyici rol oynar. Gürültü için belirli bir istatistiksel dağılım fonksiyonu çoğu zaman işe yarar ise de her zaman verimli sonuçlar doğuramayabilmektedir.

Yönelimli işitsel algılama insan ve diğer hayvanlarda doğuştan gelen bir yetenektir. Bu algılama yeteneği, algılayıcı organların işleyişine bağlı olduğu gibi ses dalgalarının uzayda yayılma biçimine de bağlıdır Kushleyev, (2004). Ses algılayışımızda sağdan ve soldan gelen sesleri ayırabildiğimiz gibi seslerin yukarıdan veya aşağıdan gelip gelmediğini de ayırabilmekteyiz. Bu, ses kaynağının yerini bulma anlamında 3 boyutlu bir fonksiyon ortaya koymaktadır Gregory, (2004).

Ses kaynağının yerini bulmak için iki temel içerikten yararlanılır. Bunlar

mikrofonlar arasındaki genlik ve faz farklarıdır (Basu ve ark. (2000); Kazuhiro ve ark (2002); Kushleyev (2004)). Bu veriler elde edildiğinde ses kaynağının konumu elde edilebilir. Ancak bu aşamada bir kritik nokta daha vardır. Bu nokta veri toplama sistemidir ki, mikrofon dizisinin performansını doğrudan etkiler. Veri toplama sistemi kaydedilen analog işaretleri dijital veriye çevirerek bilgisayar ortamına aktarır. Burada da örnekleme kriteri – Nyquist koşulunun sağlanması gerekmektedir (Basu ve ark., 2000; Kazuhiro ve ark., 2002; Kushleyev, 2004). Kayıtların bilgisayar ortamına aktarılması ile işaret işleme tekniklerinin kullanılması aşamasına geçilebilir. Örneğin hızlı Fourier dönüşümü kullanarak elde edilen işaretin frekans içeriği belirlenebilir, kısa dönem Fourier dönüşümü ile de frekans içeriğindeki değişim takip edilebilir (Basu ve ark., 2000; Kazuhiro ve ark., 2002; Kushleyev, 2004). Bunun dışında, sabit mikrofonlar arası mesafede dizideki eleman sayısını arttırmak dizinin akustik bant genişliğini azaltmaktadır Basu ve ark. (2000). Bir başka ifadeyle, dizideki mikrofon sayısının artması, sistemin frekans seçiciliğini arttırmakta ve belirlenen yönelim için daha düşük bir frekans aralığının kayıt edilebilmesi anlamına gelmektedir. Sonuç olarak optimum mikrofon sayısının belirlenmesi önemli bir adım olarak belirlemektedir. Dizideki mikrofon sayısını belirlerken sayının, dar bir yönelim sağlayacak kadar çok, ancak insan sesini kapsayan bant genişliğine sahip olacak kadar az olması gerekmektedir.

Birçok uygulamada hareketli ses kaynağının yerinin dinamik bir şekilde tespit ve takip edilmesi için robotlar kullanılmıştır Kushleyev (2004). Bu tür sistemlerde daha hassas yer belirleme için imge işleme yöntemlerine de yer verilmektedir. Genel olarak gerçekleştirilen uygulama çalışmalarında, ses kaynağının yerini belirlemede kuramsal açıdan net bir başarı elde edilmesine karşın deneysel uygulamaya geçildiğinde gürültü, yankı ve üst üste binme gibi bozucu etkilerden dolayı başarımlar yüzdeleri düşmektedir (Gregory, 2004).

Kayıt ortamının, birçok parametreyi şekillendiren bir faktör olması nedeniyle oda akustiği ile ilgili birtakım temel hususlara değinmek gerekmektedir Zeren, (2003). Genel olarak bir odanın akustiğini belirlemede, oda frekans ve bant genişliği özelliklerine göre 4 ayrı bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler, X, A, B ve C bölgeleri olarak adlandırılmaktadır. X bölgesi 0 ile f_x frekans aralığını kapsar ve f_x frekansı denklem (2.2.)’de şöyle ifade edilir,

$$f_x = \frac{c}{2L} \quad (2.2.)$$

Burada L parametresi, odanın en büyük boyutudur. Bu frekans aralığı mikrofon ile algılanan aralığın dışında kalır, bu yüzden de bu bölge bilinmeyen anlamında X ile tanımlanmıştır. Sıradaki bölge olan A bölgesi, f_x ile f_A frekans bölgeleri arasında kalan banttır. Bu frekans aralığı oda boyutlarına bağlı olan rezonans frekansları ile karakterize edilir ve denklem (2.3.)’de f_A frekansı ifade edilir,

$$f_A = 11250 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (2.3.)$$

Burada, V odanın hacmi, T de yankılanma süresidir. B frekans bölgesi için ise,

$$f_B = 4f_A \quad (2.4.)$$

denklem (2.4.) kullanılmakta ve bu bölge baskın difüzyon ve kırınım ile karakterize edilmektedir. Son olarak, C frekans bölgesi ise f_B frekansından daha yüksek frekanslar için tanımlanır. Bu bölge yankılanma ile karakterize edilir.

Bilgi ileten işaretlerde gürültü girişimi bozulmaya neden olmakta ve uygulamada doğru olmayan sonuçların elde edilmesine yol açmaktadır Berane, (1960). Özellikle ses ve konuşma kayıtları bağlamında gürültü oluşturan başlıca kaynaklar: dahili ve/veya harici mekanik cihazların sesleri ve kayıt odasının iyi yalıtılmaması halinde diğer odalar ve/veya dışarıdan gelen seslerdir. Bununla birlikte, mikrofon dizilerinin üç temel gürültü tipine maruz kaldıkları belirtilmektedir McGowan, (2001). Bu gürültü tipleri farklı konumlarda bulunan gürültü kaynaklarının birbirleri ile olan ilintileri bağlamında açıklanmaktadır.

Eş evreli gürültü: Eş evreli gürültü alanları, gürültü kaynağından mikrofon dizisine doğrudan yol alan gürültü işaretleridir. Çevresel koşullara bağlı olmaksızın yansımaya veya dağılmaya uğramazlar. Eş evreli alanlarda, mikrofon dizisine uygulanan gürültü girdileri kuvvetli bir şekilde ilintilidir.

Eş evreli olmayan gürültü: Eş evreli olmayan gürültüye örnek olarak mikrofon dizisi ve birlikte kullanılan elektronik donanımın kendi gürültüsü gösterilebilir. Aynı zamanda uzaysal beyaz gürültü olarak da adlandırılan bu tip gürültüler rasgele kabul edilebilir, zira ilintileri sıfıra çok yakındır.

Dağılan gürültü: Dağılan gürültü alanları, ortamda her yerde aynı enerji seviyesinde, düşük oranda ilintili gürültü alırlar. Gelen gürültü çoğunlukla bu türdendir

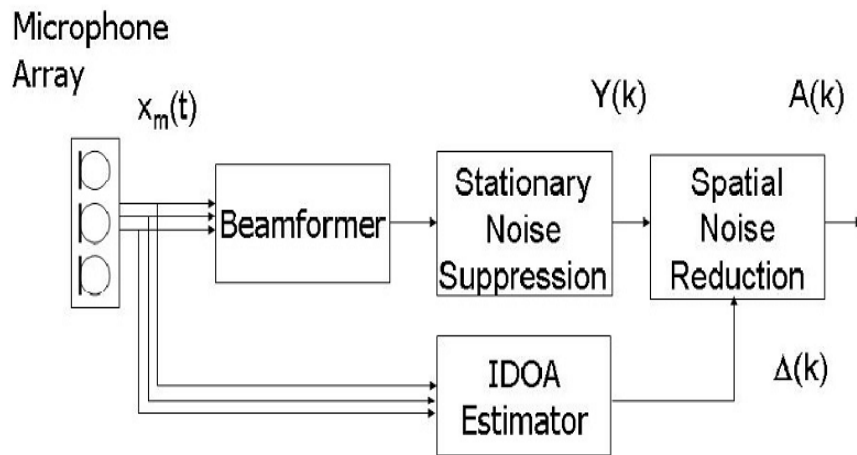
ve dağılan gürültü olarak karakterize edilir.

Bunlar dışında gürültü tanımlama için bazı renk adlandırmaları yapılmıştır [EECE 503]. Bunlar da şöyledir:

Beyaz gürültü: İzgesel güç yoğunluğu sabit olan ve tüm spektrum için frekanstan bağımsız olan gürültü tipidir.

Pembe gürültü: $1/f$ gürültüsü olarak da adlandırılır. Bu adlandırmadan da anlaşılacağı üzere frekansa bağlı olan ve bu yüzden beyaz olmayan gürültü türüdür

Avşar, (2010) bildirildiğine göre Tashev ve ark., (2005) tarafından yapılan çalışmada kulaklıklardan gelen küçük bir mikrofon dizisi sinyallerini işlemek için üç aşamalı karma mikrofon dizisi mimarisi kullanır. İşleme zincirinde sabit end-fire demetleme şekillendirici vardır. Şekil 2.2.'de işlem zinciri verilen üç elemanlı mikrofon dizisinden alınan ses demetleme şekillendirme işleminden sonra sabit ses bastırma oradan da spatial ses azaltıcıya (Spatial Noise Reduction) yönlendirilir. Mikrofonların az sayıda olmasından dolayı algoritmanın sınırlı bir düzeyde kalmaması için spatial ses azaltıcı kullanılmıştır. Bu sayede gürültünün olumsuz etkileri en aza indirilebilmektedir. Uzak arazi tasarımının algoritması kafanın etrafındaki ses kırımını ve ağzın alabileceği yönü telafi etmek için kulaklığın özellikleri göz önüne alınarak düzenlenmiştir. Spatial ses azaltıcı baskılama kuralı çoklu yönlere geneller. Algoritma üç elemanlı mikrofon dizisi kullanan bir set ile denenmiştir. Hesapsal olarak kullanışlıdır. 18 dB'e kadar ses baskılaması sağlar. Örnek donanım Şekil 2.3.'da verilmiştir.



Şekil 2.2. Kulaklıkta faz dizi mikrofon kullanımı için işlem zinciri



Şekil 2.3. faz dizi mikrofon deneysel kulaklık

Çontar, (2007) yaptığı çalışmada “mikrofon dizileri ile ses kaynağı yerinin tespit edilebilmesi için, öncelikle ses kaynağının olabileceği muhtemel noktalar içinde arama yapılmıştır. Arama amacıyla Genetik Algoritma kullanılmıştır. Denenen her bir nokta için geciktir-ve-topla yöntemi ile demetleme yapılmış, en güçlü sinyali veren nokta odak noktası, yani ses kaynağının yeri olarak kabul edilmiştir”.

Geliştirilen yöntem, MIT (Massachusetts Institute of Technology) bilgisayar bilimleri ve yapay zeka laboratuvarında (CSAIL) geliştirilen ve 1020 adet mikrofondan oluşan dünyadaki en büyük mikrofon dizisi (Şekil 2.4.) ile kayıt edilen ses bilgisi üzerinde denenmiştir. Mikrofonların dizilimi (Şekil2.5.)’de görüldüğü gibidir. Demetleme sonucu oluşan, sinyalin sinyal-gürültü-oranı, mikrofon sayısına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Mikrofon sayısı arttıkça SGO değeri de logaritmik olarak artmıştır. Bu tespit, SGO değeri ile mikrofon sayısı arasındaki denklem (2.5.) doğruladığını göstermektedir (Adcock, 2001) .

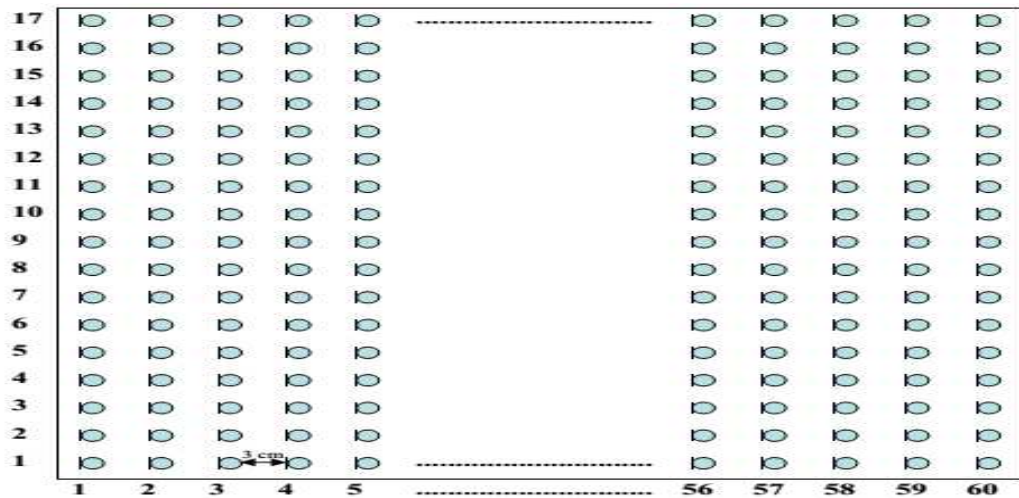
$$SGO = 10 \log_{10}(M) \quad (2.5.)$$

Burada (M) dizideki mikrofon sayısını göstermektedir. Ayrıca, geciktir-ve-topla demetleme yöntemi ile elde edilen çıkış sinyalinin SGO değerinin, her durumda referans mikrofondan alınan sinyalin SGO değerinin altında olmaktadır.

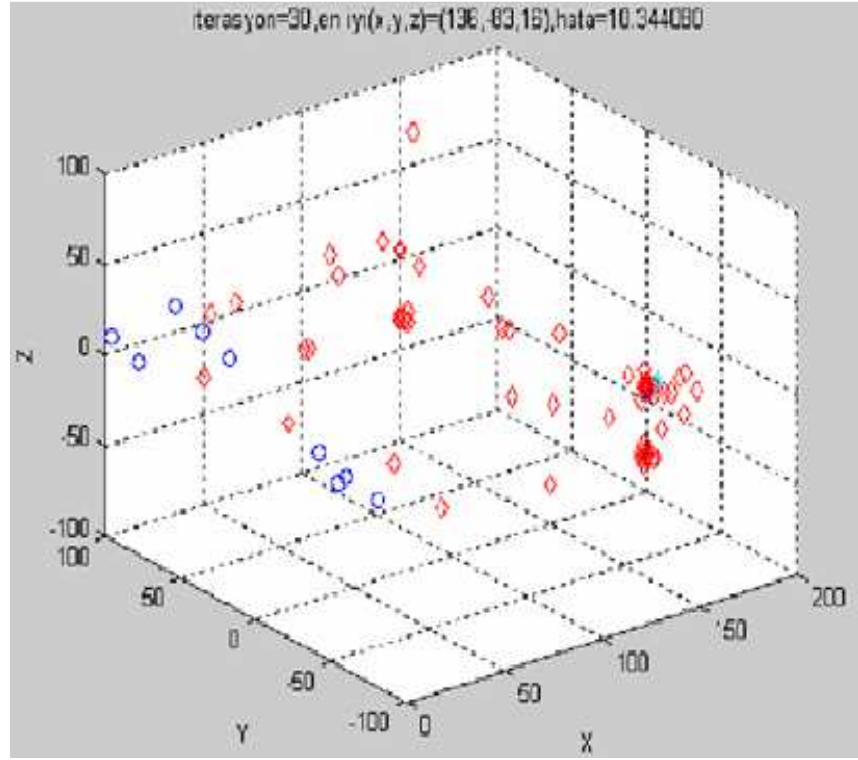


Şekil 2.4. MIT tarafından geliştirilen 1020 adet mikrofondan oluşan dünyadaki en büyük mikrofön dizisi(Çontar, 2007)

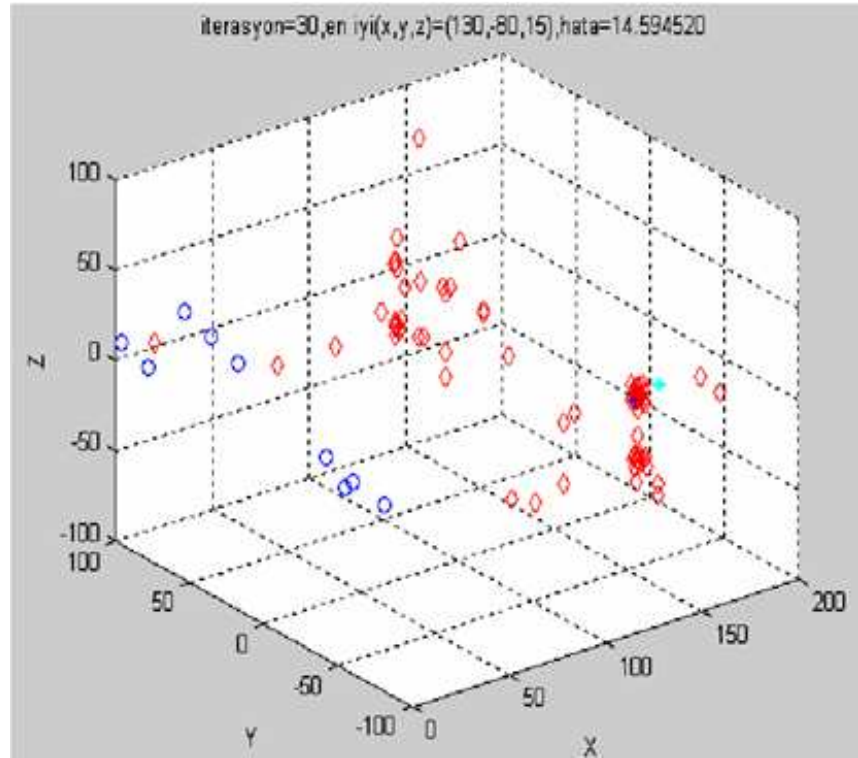
Burada (M) dizideki mikrofön sayısını göstermektedir. Ayrıca, geciktir-ve-topla demetleme yöntemi ile elde edilen çıkış sinyalinin SGO değerinin, her durumda referans mikrofondan alınan sinyalin SGO değerinin altında olmaktadır. 15 mikrofondan oluşan dizi içerisinde 3 adet mikrofönün kullanılması sonucunda çok küçük bir hata ile kaynağın yeri tespit edilmiştir Çontar, (2007) bildirdiğine göre, Aguilar, ve ark., 2 mikrofön kullanarak ve genetik algoritma yardımıyla arama yaparak ses kaynağının yerini tespit etmişlerdir.



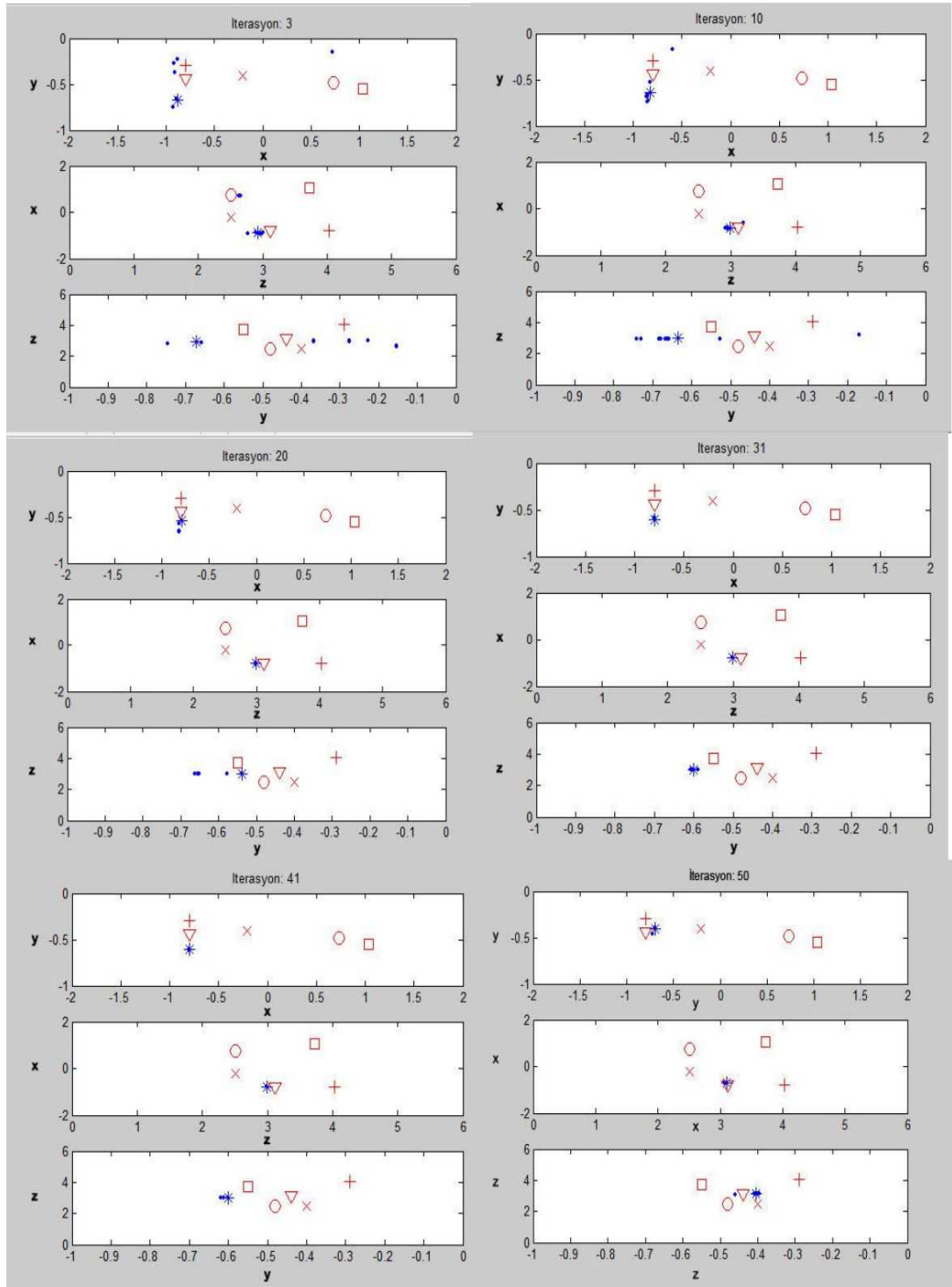
Şekil 2.5. 1020 adet mikrofondan oluşan mikrofön dizisi yerleşim planı (Çontar, 2007)



Şekil 2.6. Uygunluk fonksiyonunun SGO değeri alınması ile elde edilen sonuç (Çontar, 2007)



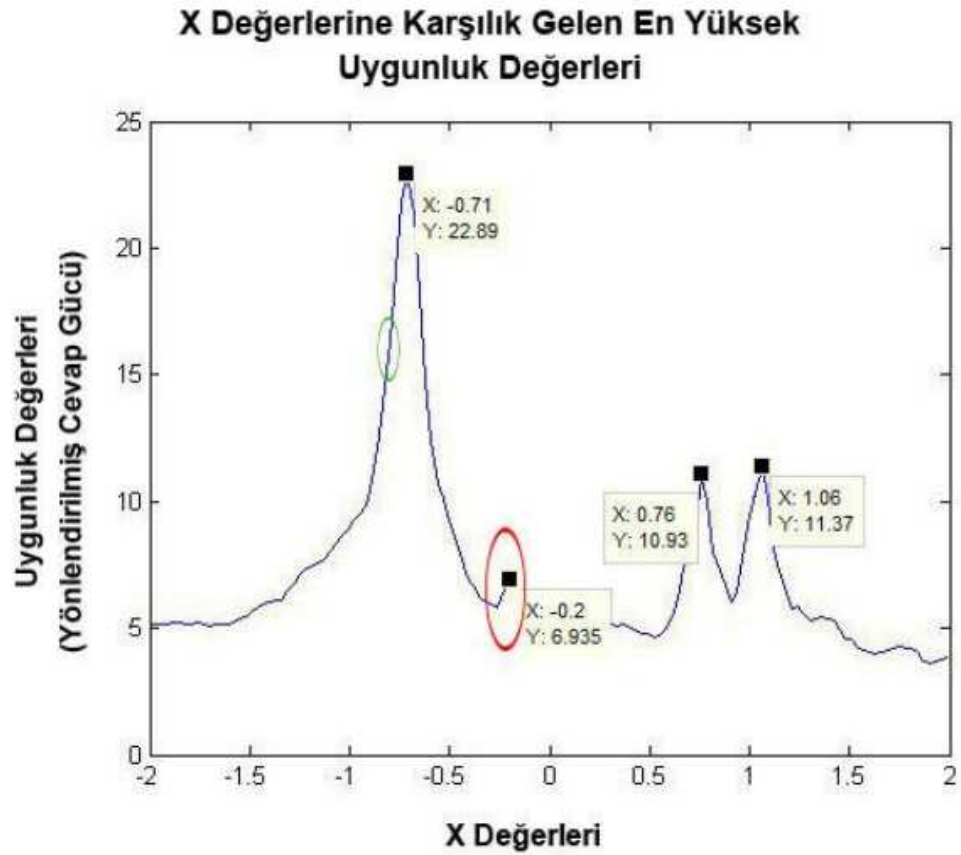
Şekil 2.7. Uygunluk fonksiyonu ortalama değeri seçilmesi ile elde edilen sonuç (Çontar, 2007)



Şekil 2.8. Ses kaynağını bulurken farklı iterasyonlar dan görünüm (Sezen, 2010)

Sezen, (2010) yaptığı çalışmada Brown Üniversitesi Mühendislik Sistemleri laboratuvarlarında (Laboratory for Engineering Man-Machine Systems (LEMS)) Aynı

anda 5 kişinin %75 üst üste gelecek şekilde konuştuğu ve veri toplama işleminin 24 mikrofondan oluşan bir dizi sayesinde toplanan veriler üzerinde Yönlendirilmiş Tepki Gücü - Faz Dönüşümü metodu kullanmıştır. Çalışmada kullanılan ses parçalarının her biri 102.4 ms'dir ve her seferinde 25.6 ms kaydırılmıştır. Örnekleme oranı 20 KHz'dir. Çalışmada varlık büyüklüğü 127 olarak kabul edilmiştir ve 50 iterasyona göre çalıştırılmıştır. Çalışmanın sonucu 4 konuşmacının yeri oldukça net bulunurken bir konuşmacının yeri bulunamamıştır



Şekil 2.9. konuşmacının x değerinin hesaplanması (Sezen, 2010)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışmamızda kullanılan donanımlar, yazılımlar, sunduğumuz algoritma ve bu algoritmanın anlaşılmasını kolaylaştıracak temel teknikler açıklanmıştır.

3.1. Mikrofon

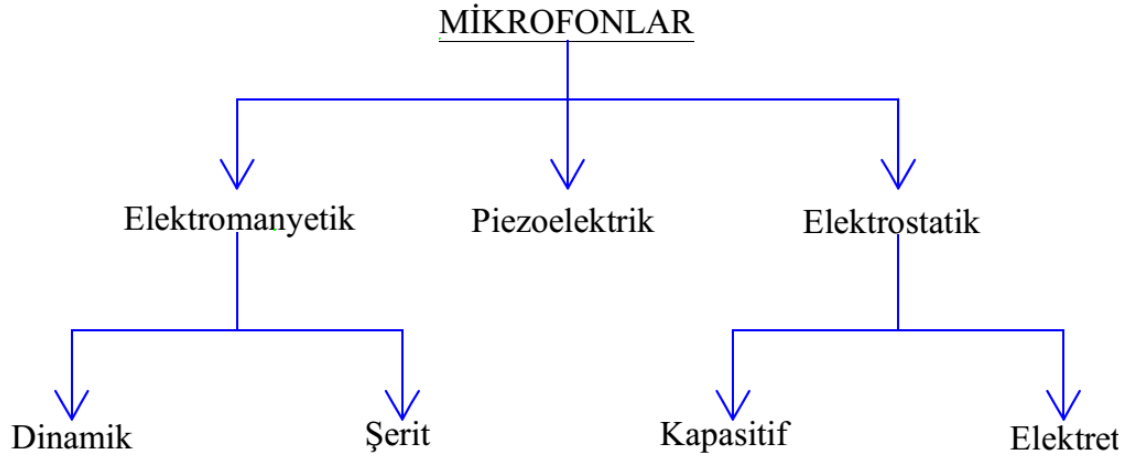
Akustik enerji, ortamda yayılan ses dalgalarının sahip olduğu enerji miktarıdır. Akustik enerjiyi dijital veya analog ortama kaydederken elektrik enerjisine dönüştüren araçlara mikrofon adı verilir. Mikrofonlar yüksek ve alçak basınç eğrileri şeklinde yayılan ses dalgalarıyla aynı özellikte pozitif ve negatif yöne doğru salınan alternatif elektrik akımı meydana getirirler. Kullanılan mikrofonun yapısına ve özelliklerine göre diyaframa çarpan ses dalgasının temsili olan elektrik akımı sinyalinde bir miktar değişiklik görülebilir. Bu farklılık mikrofonun karakteristik tınısıyla ilgilidir. Her türlü ihtiyaca göre farklı özelliklerde ve tiplerde üretilen, kayıt zincirinin ilk halkası olan mikrofonlar, yönsel özellikleri ve çalışma prensipleri bakımından birbirlerinden ayrılırlar (Howard, ve Angus, 2001).

Mikrofonlar çalışma prensiplerine ve Yönelme Karakteristiklerine Göre iki ayrı ana başlık altında açıklanacaktır.

Çalışma prensiplerine göre mikrofonlar

Ses kayıt ve müzik teknolojileri uygulamalarında kullanılan mikrofonlar, çalışma prensiplerine göre üç ayrı grupta sınıflandırılabilir:

- 1) Elektromanyetik mikrofonlar
 - (a) Dinamik mikrofonlar
 - (b) Şeritli mikrofonlar
- 2) Elektrostatik mikrofonlar
 - (a) Kapasitif (Kondansatör) mikrofonlar
 - (b) Elektret mikrofonlar
- 3) Piezoelektrik (kristal) mikrofonlar



Şekil 3.1. Mikrofonların çalışma yapısı olarak gruplara ayrılışı

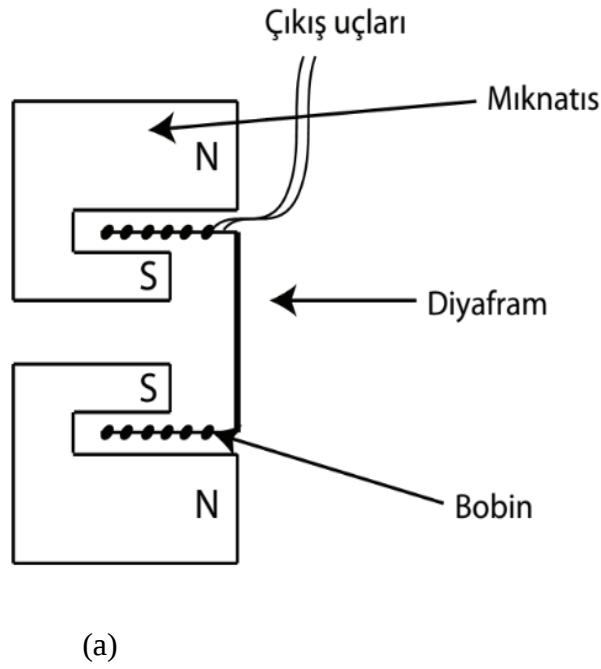
3.1.1. Elektromanyetik mikrofonlar

Elektromanyetik prensibe göre çalışan mikrofonlar dinamik mikrofonlar ve şerit mikrofonlar olarak iki guruba ayrılırlar.

3.1.1.1. Dinamik Mikrofonlar

Çalışması için ayrı bir gerilim kaynağına ihtiyaç duymadığından ve de düşük maliyetli oluşundan ötürü tercih edilen bir mikrofon türüdür. Sağlam küçük, hafif yapıları 60-10000Hz gibi frekans karakteristikleri ile güçlü çıkış vermelerine rağmen ses frekanslarının takibi o kadar iyi değildir. 1-10 mV düzeyinde çok düşük elektrik sinyalleri üretirler. Dinamik mikrofonlar çok yüksek seviyelerdeki ses şiddetlerine, ısıya, neme ve darbelere karşı dayanıklı olmalarından ötürü canlı müzik ve benzeri uygulamalar için çok doğru bir seçimdir. Sesleri kapasitif mikrofonlara göre daha sert ve vurgulu olan dinamik mikrofonlar pop ve rock gibi müziklerde kick, trampet, gitar ve basgitar amplifikatörleri için oldukça kullanışlıdır. (Önen, 2007).

Dinamik mikrofonlar Şekil 3.2. (a) yuvarlak bir mıknatıs etrafına oturtulmuş, üzerinde ince ve oldukça hafif sentetik bir maddeden üretilmiş iletken bobin bulunan diyaframdan meydana gelmektedir. Diyaframa çarpan ses dalgaları diyafram ve bobini titreştirir. Böylelikle manyetik alan içerisinde hareket eden iletken bobin üzerinde, sesin şiddeti ve frekansına göre değişen bir elektrik akımı meydana gelir.

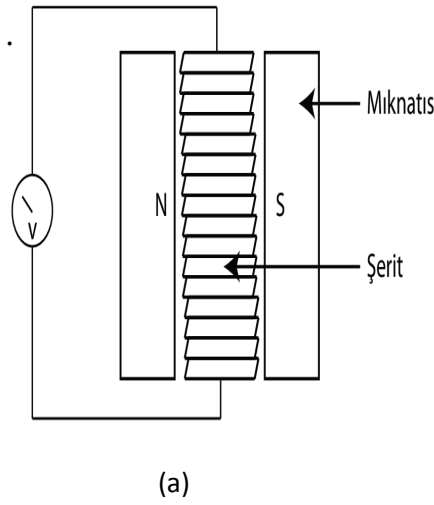


Şekil 3.2 (a) Dinamik mikrofon çalışma prensibi
Şekil 3.2 (b) Dinamik mikrofon

3.1.1.2.Şeritli Mikrofonlar

Dinamik mikrofonlar gibi elektromanyetik prensibine göre çalışan Şerit mikrofonlar çok hassas yapıdadırlar. Sarsıntıdan, hava akımından olumsuz etkilenerek gürültülü çıkış verirler. Bu nedenle, fazla sarsmamaya dikkat edilmeli açık ve rüzgârlı havalarda kullanılmamalıdır. 14 kHz'e kadar yanıt verebilen frekans karakteristikleri ve Hassaslıkları nedeniyle, düşük frekanslı sesleri alırlar. Bu özelliğinden ötürü müzik nakillerinde sıklıkla kullanılırlar.

Şerit mikrofonlarda Şekil 3.3. (a) da görüleceği üzere dinamik mikrofonlardaki diyafram ve bobin sistemi yerine iki mıknatıs arasında titreşen ince uzun şerit biçiminde iletken bir folyo bulunmaktadır. Ses dalgalarının şiddeti ve frekansına göre manyetik alan içerisinde bulunan şerit titreşmeye başlayarak elektrik akımını oluşturur.



Şekil 3.3. (a) Şeritli mikrofonun çalışma prensibi diyagramı
Şekil 3.3. (b) MXL R144 Şerit mikrofon

3.1.2. Elektrostatik Mikrofonlar

Elektrostatik prensibe göre çalışan mikrofonlar kondansatör ve elektret kondansatör mikrofonlar olarak iki gruba ayrılırlar.

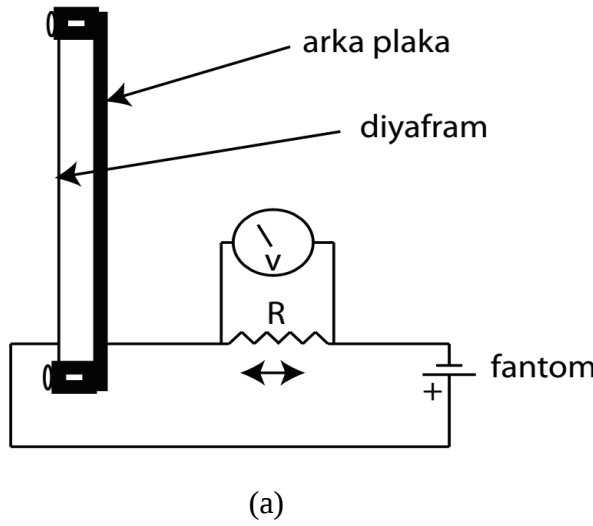
3.1.2.1. Kapasitif Mikrofonlar

50 - 15000 Hz arasında oldukça geniş bir frekans karakteristiğine sahip kapasitif mikrofonlar üst ve alt frekanslara çok duyarlıdırlar. Sesleri berrak ve temizdir. Kapasitif mikrofonlarda mıknatıs olmadığı için boyutları dinamik mikrofonlara göre daha küçük olabilir. Kapasitif mikrofonlar her ne kadar canlı müzik ve benzeri uygulamalar için kullanılıyor olsa da özellikle geniş diyaframlı olanların, esas kullanım alanı stüdyo kayıtlarıdır (Önen, 2007).

Kapasitif mikrofonlarda, kapsül içinde altın veya nikel ile kaplı myler¹ malzemeden üretilmiş çok ince bir diyafram, *backplate* adı verilen levhaya santimetrenin 1/1000'i mesafede yerleştirilmiştir, Kapsül şarj edilebilmesi için 11-48

¹ Polietilen tereftalat, polyester ailesine ait poli kondenzasyon metoduyla üretilen termoplastik bir malzemedir

Volt DC arasında değişen bir gerilim kaynağına ihtiyaç duyar. Bu kaynağa fantom gerilimi adı verilir. Diyaframı titreştiren ses dalgaları arka plaka ile diyafram arasındaki uzaklığın değişmesine neden olur. Bu uzaklık değişimi kondansatör sığasını değiştirerek devreye yük boşaltır veya devreden yük çeker. Bunun sonucu olarak devreye seri bağlı olan R direnci üzerinde ses dalgaların frekansına ve şiddetine bağlı olarak değişen bir elektrik akımı meydana gelir (Şekil 3.4 a). Oluşan bu elektrik akımının genliği çok düşük olduğundan bir amplifikatör yardımıyla güçlendirilmesi gerekir. Bu sebeple Kondansatör mikrofonlar içerisinde FET transistörler veya vakum tüpler ile çalışan bir ön yükseltici devre bulunur Howard, ve Angus, (2001).



Şekil 3.4. (a) Kapastif mikrofonun çalışma prensibini gösteren diyagram
Şekil 3.4. (b) Kapastif mikrofon (Rode NT5)

3.1.2.2. Elektret Mikrofonlar

Yapımı kolay ve ucuz olan Elektret mikrofonlarda frekans karakteristiği geniş ve düzdür. Elektrostatik bir yöntemle, ince bir yarıiletken maddenin iki yüzü, pozitif (+) ve negatif (-) olarak yüklenen bu tür yarı iletkenlere elektret adı verilmiştir.

Diyafram titreştiğinde kristal mikrofonlardakine benzer bir yöntemle diyaframa bağlanan elektret kapsülünde moleküler yapısı değişmektedir. Bu değişim ile iki yüzündeki elektrotlar arasında bir AF-AC gerilimi oluşmaktadır. Elektrot gerilimi, bir ses frekansı yükselteciye verilerek kuvvetlendirilir. Yüksek dirençli bir mikrofon olan elektret mikrofonda blendajlı kablo kullanılmalı ve kablonun boyu fazla uzun olmamalıdır. (Avşar, 2010)



(a)



(b)

Şekil 3.5. (a) Elektret mikrofonlar (b) Stereo elektret mikrofon

3.1.2.3. Piezoelektrik Seramik Mikrofonlar

“Kristal mikrofona benzerler, seramikleri elde yapılır. Diyaframa tutturulan piezoelektrik özelliğe sahip seramik eleman diyafram hareket ettikçe uçlarında elektriksel gerilim oluşturur”.(Avşar, 2010)

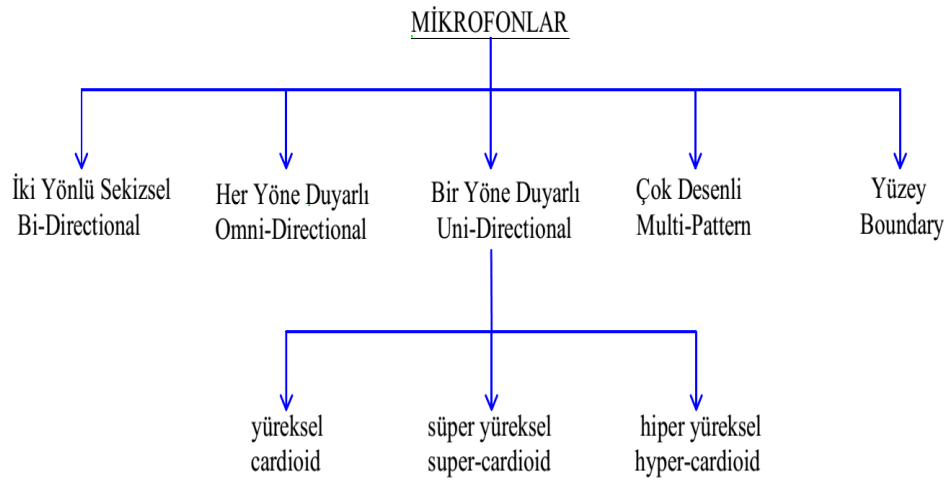
3.1.3. Yönelme Karakteristiklerine Göre Mikrofonlar

Diyaframına gelen ses dalgalarına karşı mikrofonun hangi yön veya yönlerle duyarlı olduğunu gösteren özelliğe yönsel özellik denir. Sesi alma şekli veya sesi duyma şekli anlamına gelen pick-up pattern pattern’ın grafiğe dökülmüş hali polar pattern veya polar response olarak adlandırılmaktadır(Önen, 2007).

Mikrofonlar yönsel özelliklerine göre aşağıdaki biçimde sınıflandırılabilir.

1. Bir yöne duyarlı mikrofonlar (Uni-Directional)

- (a) yüreksel (cardioid)
- (b) Süper- yüreksel (super-cardioid)
- c) Hiper- yüreksel (hyper-cardioid)
- 2. İki yöne duyarlı mikrofonlar (Bi-Directional veya Figure-8)
- 3. Her yöne duyarlı mikrofonlar (Omni-Directional)
- 4. Çok desenli mikrofonlar (Multi-Pattern)
- 5. Yüzey mikrofonları (Boundary - PZM)



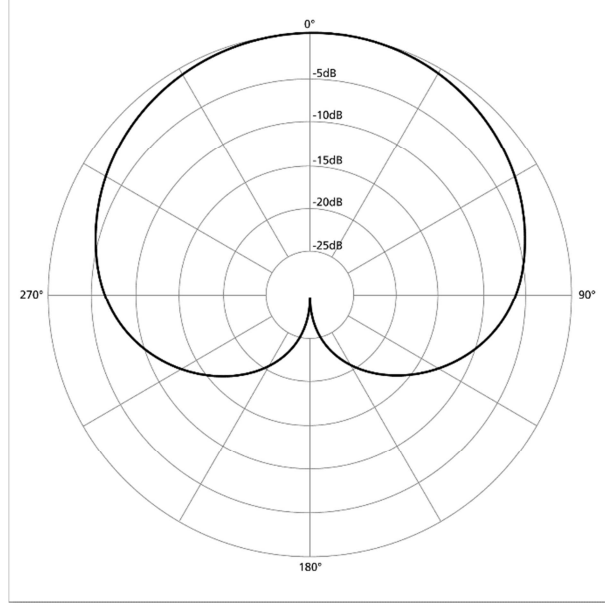
Şekil 3.6. Mikrofonların Yönelme Karakteristiklerine Göre gruplara ayrılışı

3.1.3.1. Bir Yöne Duyarlı (Uni-Directional) Mikrofonlar

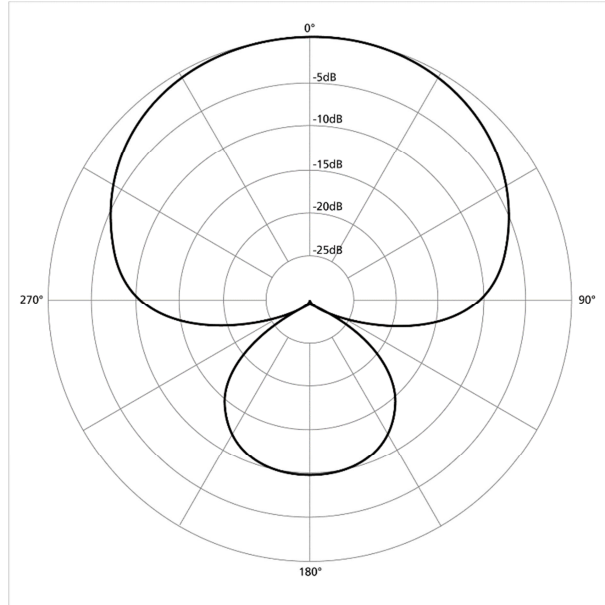
Ynsel mikrofonlar olarak adlandırılan bir yöne duyarlı mikrofonlar kendi aralarında yüreksel, süper- yüreksel ve hiper- yüreksel olmak üzere üç farklı çeşide ayrılır. Mikrofonların kutupsal desenlerinin kalp şekline benzemesinden dolayı Yreksel kelimesi ile anılırlar.

“Yreksel mikrofonlar tam karşıdan gelen ses dalgalarını (eksen-üstü 0° açıda) Yakalayacak şekilde tasarlanmışlardır. Yanlardan gelen (90° ve 270°) sesleri 6 dB kadar düşürürken tam arkadan gelen (180°) seslere karşı oldukça duyarsızdırlar Şekil (3.7.). Bu mikrofonlar çevresel sesler izole edilerek doğrudan kaynağa odaklanılması gereken durumlarda özellikle tercih edilirler. Süper yüreksel mikrofonlarda yanlardan gelen seslere karşı duyarlılık 8-9 dB, 180°’de duyarlılık 15 dB kadardır. Bu mikrofonlar arkadan gelen seslere karşı az da olsa duyarlıdırlar Şekil (3.8). hiper-yüreksel

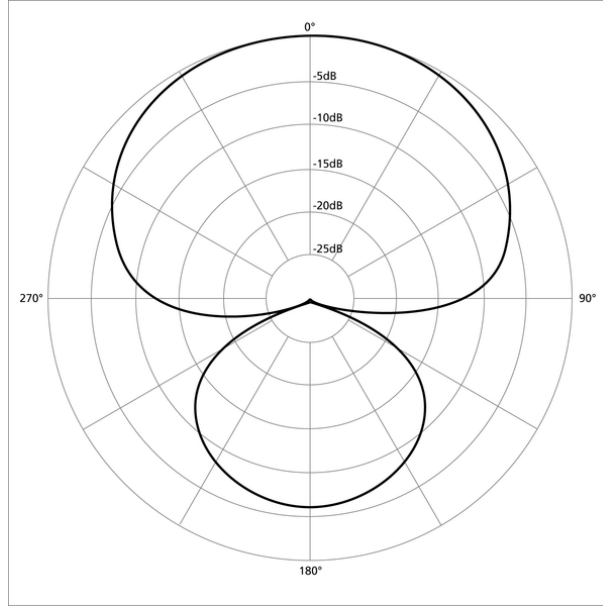
mikrofonlarda ise duyarlılık yanlardan gelen seslere karşı 12 dB, arkadan gelen seslere karşı ise 6 dB kadardır. Hiper-yüreksel mikrofonlarda arka taraftan duyarlılık daha yüksektir(Şekil 3.9). O halde mikrofonlarda yönsellik arttıkça arka taraftan gelen seslere karşı duyarlılık da artmaktadır’’ Howard ve Angus (2001).



Şekil 3.7. Yüreksel mikrofona ait kutupsal desen



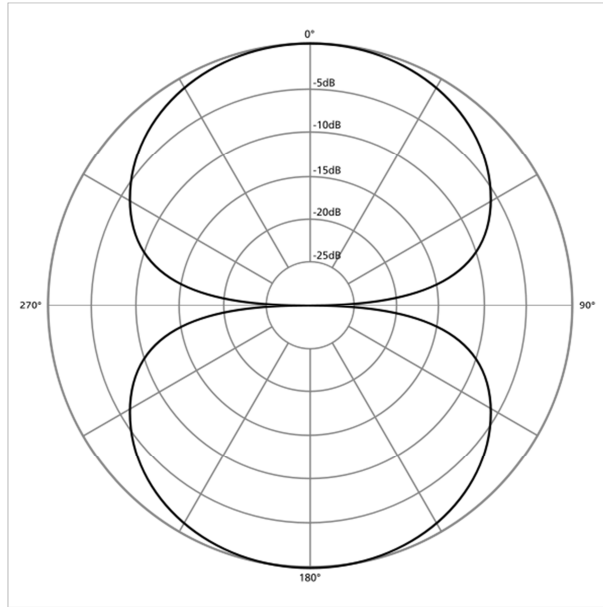
Şekil 3.8. Süper yüreksel mikrofona ait kutupsal desen



Şekil 3.9. Hiper yöresel mikrofonu ait kutupsal desen

3.1.3.2. İki Yöne Duyarlı Mikrofonlar (Bi-Directional)

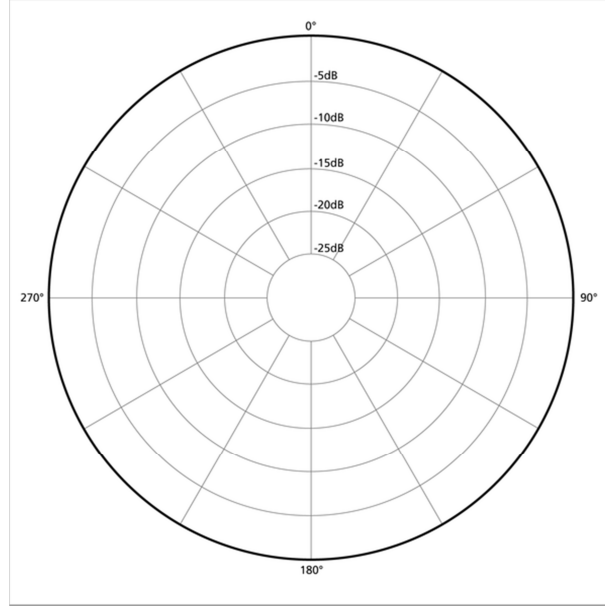
İki yönlü sekizsel mikrofon olarak da anılan bu mikrofonların iki yönü de çok duyarlıdır. Mikrofonun önü ve arkası sesi aynı anda ve yoğunlukta alır(Şekil 3.10.). Eksenin (0^0 ve 180^0)'lere duyarlı olmasına rağmen (90^0 ve 270^0)'lere az duyarlıdır (Aziz, 2007).



Şekil 3.10. İki yönlü sekizsel mikrofonu ait kutupsal desen

3.1.3.3. Her Yöne Duyarlı mikrofonlar (Omni-Directional)

Dairesel yönsüz mikrofon olarak da anılan üzere bu mikrofonlar her yönden gelen seslere karşı duyarlılık gösterirler (Şekil 3.11.). Özellikle akustik özelliklerin yakalanması gerektiği durumlarda bu mikrofonlar tercih edilirler Aziz (2007).



Şekil 3.11. İki yönlü yönsüz mikrofonu ait kutupsal desen

3.1.3.4. Çok Desenli Mikrofonlar (Multi-Pattern)

Çok yönlü mikrofonlar olarak adlandırın bu mikrofonların üzerinde mikrofonun yönsel özelliğini belirleyen bir seçim düğmesi bulunur (Şekil 3.12). Mikrofonun yönsel özelliği Bu düğme aracılığı ile ihtiyaca göre değiştirilebilir.



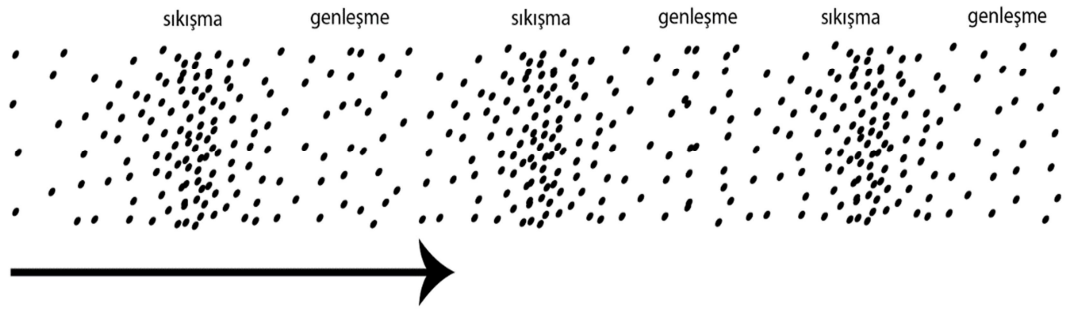
Şekil 3.12. Kondansatör mikrofon (AKG C414)

3.1.3.5.Yüzey Mikrofon

Dışarıdan gelecek darbeler sonucu mikrofonda oluşacak hasarları önlemek için dayanıklı koruyucu bir yüzey olarak metal veya sert plastik plaka entegre edilir. Yuvarlak masa tartışmaları sistemi, sahne ve stüdyo uygulamaları için uygundur.

3.2. Ses ve Duyum

En önemli boyuna dalga örneklerinden olan ses dalgaları ortamın özelliklerine göre değişen bir hızla yayılırlar. Ses dalgaları ortamda yayılırken; ortamın parçacıkları, dalganın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişiklikleri üreterek titreşirler(Şekil 3.13). Bu titreşim en yakın hava molekülünü harekete geçirerek molekül enerjisini bir sonrakine aktarır. Enerji transferi tekrarlanarak ardışık moleküller boyunca devam eder. Bu şekilde meydana gelen harekete dalga hareketi, oluşan dalgaya (belirli bir frekans aralığında) ise ses dalgası adı verilir Bu değişiklikler yüksek ve alçak basınç bölgelerinin oluşumuna yol açarak sağlıklı bir kulak ve beyin tarafından ses olarak algılanır (Beichner, 2010).



Şekil 3.13. Sesin havada yayılması

Ses biçiminde değerlendirilebilmeleri için havada yayılan bu dalgaların saniyede en az 20 ile 20.000 kere periyodik olarak tekrar etmesi gerekmektedir. Kişiden kişiye, cinsiyete ve yaşa bağlı olarak bu değerlerde değişiklik görülebilir. Bu değerler Sesin kaynağına, yayıldığı ortama ve hatta işitme sistemimizin bir takım özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

“Sesin temel öğeleri perde, gürlük ve tınıdır. Perde, sesin işitme sistemiz üzerinde yarattığı tizlik ve pestlik etkisi olarak tanımlanabilir ve öznel bir kavramdır. Gürlük,

sesin şiddetinin işitme sistemimiz üzerinde yarattığı etkidir. Tını ise farklı titreşim biçimleri sergileyen ses kaynaklarının işitme sistemimiz üzerinde meydana getirdiği renk algısı olarak tanımlanabilir’’ (Howard, ve Angus, (2001) .

3.2.1. Ses Yayılımı

Sesin yayılımını incelemek ve ses kaynağı yer tespiti gibi uygulamalarda ses dalgasının modellenmesi gerekmektedir. Pratik uygulamalar için makul olabilecek ve geçerliliği gösterilmiş bir model ile yola çıkmak temel teşkil edecektir. Bu bağlamda ses dalgasını modellerken göz önünde bulundurulması gereken nitelikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Benesty, ve ark., 2008; Johnson D. ve ark., 1993; Brandstein, ve ark., 2001)

- Ses kaynağının noktasal kabul edilmesi, modelin basit ancak kullanılabilir olmasını sağlar. Nitekim sesin insan kafasından çıkması ve karmaşık yayılım örüntüleri göstermesi gibi gerçekçi durumlar göz önüne alındığında model amacından uzaklaşmakta, pratikliğini yitirmektedir.
- Sesin yayılım vasatın homojen kabul edilmesi ses hızının ortamın tamamında sabit olarak kullanılabilmesinin önün açmaktadır. Bununla birlikte ortamdaki nem ve/veya gaz dağılımı homojen olmadığında, ses dalgası kırılma ve sapma gibi etkilere maruz kalacaktır.
- Ses dalgasının yayıldığı vasatın kayıpsız olduğu kabul edilir ve bu sayede ses dalgasının kaynaktan çıktıktan sonra ve/veya yayılım sırasında enerji kaybına uğramadığı kabul edilmiş olur.
- Son olarak, Doppler etkisinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilerek de ses kaynağının yerinin değişmesi halinde yayılan sesin frekans içeriğinin değişmediği var sayılır ve bu da işaret işleme açısından bakıldığında, işlem yükü açısından oldukça önemli bir kazanç olarak görülmektedir.

Mikrofonlardan elde edilen ve dijitale çevrilerek bilgisayar ortamına aktarılan işaretlerin işlenebilmesi için matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Buradan yola çıkarak t anında m mikrofonundan alınan işaret,

$$x_m(t) = s(t) + n_m(t) \quad (3.1.)$$

bağıntısı ile gösterilir. Denklem(3.1)’de $s(t)$ kaynaktan salınan ses dalgası, $n_m(t)$ ise m.

mikrofon için gürültü bileşenidir. Gürültü terimi kaynaktan yayılan akustik dalga ile değil, ancak mikrofon ile ilişkilendirilmiştir. Dolayısı ile gürültü, her bir mikrofon için bağımsız stokastik süreçler olarak modellenmektedir (Benesty ve ark., 2008).

(3.2) denkleminde ortam koşullarından kaynaklanan yankılanmalar mevcut değildir. Johnson ve ark, (1993),a göre yankılanmalar gürültüden farklı olarak $s(t)$ işaretine bağlıdır ve genellikle ihmal edilir. Bu halde yankılanmadan kaynaklanan ek işaretlerin de $s(t)$ işaretinin içerisinde olduğu varsayılmakta ve basitlik de göz önünde bulundurularak modele dahil edilmemektedir. (3.1) denklemindeki notasyon kullanılır ise,

$$x_m(t, q) = s(t - \tau_{am}^q) + n_m(t) \quad (3.2.)$$

(3.2.) denklemi elde edilir. Burada denklem zaman ile birlikte q mesafesine de bağlı olan bir fonksiyon olarak verilmiştir. Farklı olarak, mikrofon dizisindeki mikrofonlardan biri referans kabul edilmiş ve a ile temsil edilmiştir. Çoğunlukla referans mikrofon, a , ses kaynağı q 'dan en uzaktaki mikrofon olarak seçilir. Nitekim $\tau_a^q - \tau_m^q$ hiçbir zaman negatif olamayacaktır (Brandstein ve ark 2001).

3.2.2. Sesin Hızı

Ses hızı deniz seviyesindeki havada ve 21 °C sıcaklıkta 343.2 m/s (1224 km/saat) olarak alınır. Frekansa bağlı olarak değişmeyen ses hızı, her frekansta aynı hızda gider. Havanın yoğunluğuna ve sıcaklık durumuna göre sesin yayılma hızı değişir. Sıcak havada ses hızı artarken soğuk havalarda azalır. Ses sıcak havadan soğuk havaya geçerken yayılma doğrultusunu değiştirir. Arka yönden esen rüzgâr ses dalgalarını zemine doğru yönlendirirken önden esen rüzgâr ise sesi zeminden yukarı doğru yönlendirir. Gündüz, zemin ısındığı için ses dalgaları ısı etkisi nedeniyle yukarı doğru yönelir. Gece, zemin soğuduğu için ses dalgaları aşağıya doğru yönelir.(Başaran, 1981).

$$v_{hava} = 20.1\sqrt{273 + t} \quad (3.3.)$$

Sesin havadaki hızı olarak denklem (3.3.) formülüyle hesaplanabilir. Formüldeki (v) sesin havadaki hızını, (t) ise sıcaklığın derece santigrat (°C) cinsinden ifadesidir.

3.2.3. Desibel Kavramı

Mutlak değer olarak ifade edilemeyen bazı büyüklüklerin belirlenebilmesi için referans değerlere ihtiyaç vardır. Kulağımızın algılayabildiği en düşük ses şiddeti bilinmeden gelen sesin şiddetinden bahsedebiliriz. Benzer biçimde bir amplifikatörün çıkış seviyesinin giriş seviyesine oranlanmasıyla kazancı tespit edilebilir. İki niceliğin birbirine oranının logaritması alınarak belirlenen değer desibel olarak tanımlanır. Bel bir telefon hattında 1.6 Km sonra oluşan ses sinyalindeki kaybı ifade eder. Birim Alexander Graham Bell'e ithafen bel olarak adlandırılmaktadır. İşitme duyumuz ile algılayabildiğimiz genlik değişimleri 1 bel'in altında olduğundan bel'in ondalığı olan desibel(dB) kullanılır. İki güç değeri arasındaki oran denklem (3.4.) ile hesaplanır. (Önen, 2007)

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (3.4.)$$

P1= Düzeyi ölçülen büyüklük

P2= Referans düzeyi (3.5.)

Sesin elektriksel olarak ifade edildiği durumlarda voltaj (gerilim) söz konusu olur. Ohm kanununa göre voltaj ile güç arasında denklem (3.6.) bağıntısı bulunur. Güç voltajın karesi ile doğru orantılıdır. O halde denklem (3.7.) eşitliğinden voltaj ile ilgili hesaplamalarda denklem (3.8.) formülü kullanılabilir. (Howard ve Angus 2001).

$$W = \frac{V^2}{R} \quad (3.6.)$$

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{V_1^2}{V_2^2} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad (3.7.)$$

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (3.8.)$$

3.2.4. Ses Güç Düzeyi

Ses kaynakları tüm doğrultularda aynı düzeyde akustik dalgalar şeklinde enerji yayarlar. Noktasal bir kaynak tarafından tüm yönlere doğru dairesel olarak yayılan toplam ses gücü, ses güç düzeyi (SGD) olarak adlandırılır. Ses güç düzeyi, anlık ses

gücünün 1 picowatt'lık (10^{-12} Watt) referans değere oranının logaritması alınarak hesaplanmasıdır denklem(3.9.) . 10^{-12} W işitme sistemimiz üzerinde ses algısı oluşturan en düşük güç düzeyidir (Önen, 2007) .

$$SGD = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{anlin}}{p_{ref}} \right) \quad (3.9.)$$

3.2.5. Ses Şiddeti Düzeyi

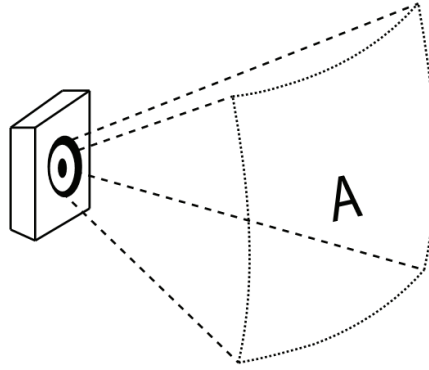
Titreşen cismin titreşim şiddetine bağlı olarak birim alanda akan ses enerjisi miktarına Ses şiddet düzeyi (SSD) denir. Denklem (3.10.)'de ses şiddeti (I) kaynaktan yayılan ses gücünün yayılma alanına oranıdır (Howard ve Angus 2009).

$$I = \frac{P}{A} \quad (3.10.)$$

$$SSD = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (3.11.)$$

$$I_{ref} = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \quad (3.12.)$$

Sesşiddet düzeyi denklem (3.11.) ile hesaplanır. Burada I_{ref} denklem (3.12.) olarak alınır



Şekil 3.14. Birim alandan yayılan ses enerjisi

3.2.6. Ses Basınç Düzeyi

Ses dalgaları ortamda yayılırken çeşitli noktalarda artan ve azalan ses basınç değişimleri meydana getirir. İnsan kulağı ses basınç değişimlerine karşı duyarlı

olduğundan sesin gürülüğünü ifade etmek içinses basınç düzeyi kullanılır. İşitme sistemimiz için sınır ses basınç değerleri en düşük 20μPa (microPascal),en yüksek 20Pa (pascal)'dır (20μPa=20x10⁻⁶Pa). Bu değerler kulak zarı üzerinde ses etkisi oluşturan en küçük basınç değeri ile kulağın dayanabildiği acı eşiğini belirtir. İşitme eşiği olan 20μPa'ın belirlenmesinde 1 kHz frekansı referans alınmıştır. (Önen, 2007)

Bir noktadaki ses basınç düzeyi denklem (3.13.) ile denklem (3.14.) ile hesaplanabilir. Günlük hayatta karşılaşılabileceğimiz bazı ses basınç düzeyleri(tablo 1.1') de görülmektedir.

$$SBD=10\log_{10}\left(\frac{P^2}{P_{ref}}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)^2 \quad (3.13.)$$

$$SBD = 20\log_{10}\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad (3.14.)$$

Çizelge 1.1. Ses basınç düzeyi değerleri

Bazı Ses Basınç Düzeyi Değerleri	
140 dB	3 cm uzaklıktan bas davul(kick)
120 dB	30 cm uzaklıktan elektro gitar amplifikatörü
110 dB	10 cm uzaklıkta çalınan cowbell
100 dB	15 cm uzaklıktan yükses sesle söylenenşarkı
90 dB	40 cm o-uzaklıktan hafif çalınan bakır nefesli
80 dB	40 cm uzaklıktan pena ile calınan akustik gitar
70 dB	40 cm uzaklıktan parmak ile calınan akustik gitar
60 dB	1muzaklıktannormalkonuşmaseviyesi
50 dB	10 cm uzaklıktan fısıltı veya 1 m uzaklıktan sessiz konuşma
40 dB	Şehir içinde tipik sessiz bir oda
30 dB	Şehir dışında sessiz bir mekân
20 dB	Sessiz bir kayıt stüdyosun
10 dB	İyi bir ses izolasyonuna sahip oda
0dB	Kusursuz bir kulak için işitme eşiği

3.3. Dizisel İşaret İşleme Uygulama Alanları

Kaynak sayısı, yönelim ve konum belirleme sorunlarının çözümüne ihtiyaç duyan pek çok alan mevcuttur. Bu kısımda, öne çıkan dizisel işaret işleme uygulama alanları açıklanacaktır.

3.3.1. Radar ve Sonar Sistemleri

Dizisel işaret işleme uygulamalarının başlangıç noktasını radar ve sonar sistemlerinin geliştirilmesi oluşturmuştur. Bu sistemlerde kaynak veya kaynakların yerlerinin bulunabilmesi ve girişimlerin önlenmesi için Şekil 3.16. benzeri anten dizileri kullanılmaktadır (Stoica ve Moses 2005; Singh ve Mohan Jha, 2012)



Şekil 3.15. Çok fonksiyonlu Faz Dizi Radar(MPAR)

Radar sistemleri, temel olarak radyo dalgalarını kullanmak suretiyle nesneleri tespit etmek için kullanılır. Nesnelerin yönleri, yükseklikleri, hızları ve uzaklıkları Şekil 3.15. görüldüğü üzere belirlenebilmektedir. Radar sistemleri başta askeri donanımlarda yer almış, sonradan sivil hayata girmiştir. Radar uygulamalarında kullanılan aktif modlu anten dizisi, darbe şeklinde dalgaları yayar ve sonra bu dalgaların geri dönüşlerini dinler. Geri dönüşlerin dinlenmesi sayesinde, hedefe ait hız, uzaklık ve geliş yönü gibi

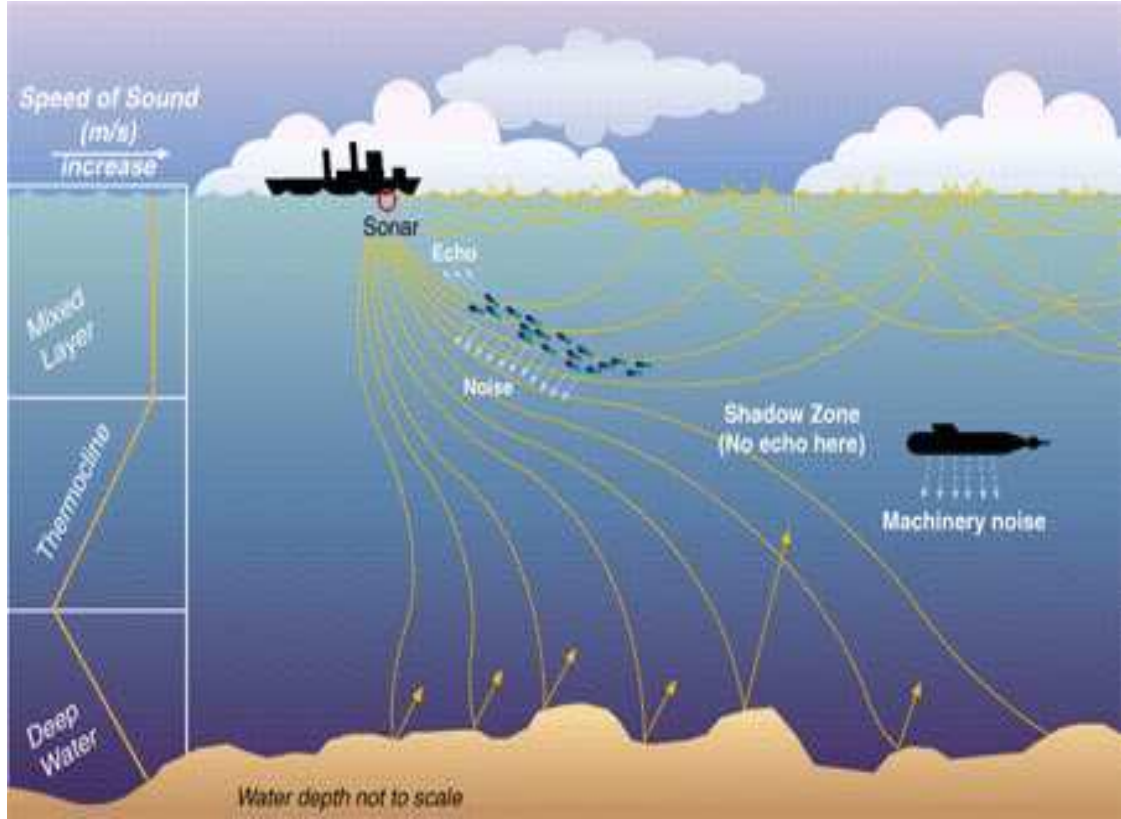
parametrelerin belirlenebilmesi mümkün hale gelmektedir. Pasif modlu anten dizilerinde ise, hedefe ait olan parametrelerden yalnızca geliş yönü parametresi belirlenebilmektedir (Stoica ve Moses 2005; Singh ve Mohan Jha, 2012)



Şekil 3.16. Hava Radarı(SPS – 49)

Sonar sistemleri, Şekil 3.17.de görüleceği üzere ses dalgalarının su altında yayılımından faydalanarak deniz altında veya yüzeyinde bulunan nesneleri tespit amacı ile kullanılır. Radar sistemlerinde olduğu gibi sonar sistemlerde de aktif ve pasif modlu çalışma söz konusudur. Aktif modda, sistem ses darbeleri yayar ve geri dönüşleri dinler. Bu geri dönüşlerden de parametrelerin belirlenmesinde yararlanır. Pasif modlu sonar sistemlerde ise sistem yalnızca hedef nesnelerin çıkardığı sesleri dinler. Buraya kadar, radar sistemlerinde anlatılanlar ile tam bir paralellik söz konusu olmasına karşın sonar sistemlerde ses dalgalarının kullanılması belirleyici etkiye sahiptir. Zira esasında mekanik bir yapısı olan ses dalgaları su altında radyo dalgalarına kıyasla çok daha uzun mesafeler kat edebilir. Pasif sonarda kullanıla alıcı dizisi ile uzaktaki nesneler tespit edilebilmekte ve konumları da belirlenebilmektedir. Aktif modda ise, akustik enerji veya mekanik enerji olarak niteleyebileceğimiz ses dalgaları yayımlanır ve yansıyan ya da yankılanan dalgalar kaydedilir. Yansıyan ses dalgaları hız, konum ve yönelim gibi

parametrelerin belirlenmesinde kullanılır. Sonar sistemlerin radar sistemlerine göre bazı olumsuz yanları bulunmaktadır. Bunlardan ilki ses dalgalarının su altında oldukça yavaş hareket ediyor olmasıdır. Bir diğer olumsuz yan ise yayılan ses dalgaları çok fazla kayba ve saçılıma uğramaktadır. Ancak tüm bu olumsuzluklara karşın sonar sistemler su altı uygulamaları için güvenilir bir teknik olarak kullanılmaktadır (Stoica ve Moses, 2005; Singh ve Mohan Jha, 2012);



Şekil 3.17. Sonar ile kaynak tespiti

3.3.2. Tıp Uygulamaları

Dizisel işaret işleme yöntemlerinin tıp alanında birçok karşılığı bulunmaktadır. Başta gelen uygulama alanı tıbbi imge işlemedir. Nitekim, manyetik rezonans, nükleer görüntüleme ve bilgisayarlı tomografi gibi görüntüleme tekniklerinde birçok algılayıcının bulunduğu diziler ve/veya matrisler kullanılmakta, bu algılayıcılardan elde edilen veriler dizisel işaret işleme teknikleri ile anlamlandırılabilmekte, dolayısıyla hastalık teşhisi gibi çıktılara ulaşılabilir. En çok bilinen örnekler, ultrasonik

görüntüleme (Şekil 3.18.), elektrokardiografi, elektroensefalografi, NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) ve bilgisayarlı tomografi olarak sıralanabilir. Bu tür görüntüleme uygulamalarının yanı sıra tıpta hastalık tedavisi, kalp gibi iç organların durumları hakkında bilgi içeren dalga şekillerinin takip edilmesi ve beyin etkinliklerinin konumlandırılması ve çözülmesi gibi önemli uygulamalarda da dizisel işaret işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda ultrasonik, manyetik, nükleer ve elektriksel dalga kaynaklarından yararlanılmaktadır (Viberg, 1995).

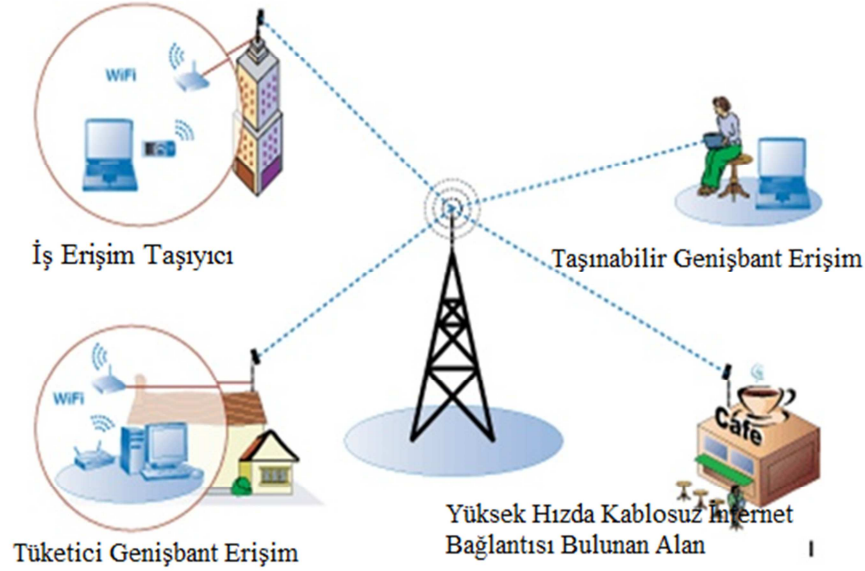


Şekil 3.18. Ses dalgalarından faydalanılarak elde edilen ultrason görüntüsü

3.3.3. Kablosuz Haberleşme

Geçtiğimiz 10-20 yıl içerisinde kablosuz haberleşme sistemleri çok büyük bir hızla gelişme göstermiştir. Bu gelişmede haberleşme teorisi yanı sıra düşük güçte çalışan cihazların tasarlanması ve üretilmesinin payı büyüktür. Temel olarak kablolu ve kablosuz haberleşmede sırasıyla elektriksel işaretler ve elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır. Anten dizileri ise, kablosuz haberleşmede klasik zaman ve frekans boyutlarına ek olarak uzay boyutunun da eklenmesini sağlamış, bu da kablosuz haberleşmede hatanın büyük ölçüde azaltılmasını sağlamıştır. Son 10 yılda ise, dizisel işaret işleme ve tahmin teknikleri, kablosuz haberleşmedeki sayısız problemin çözümü

için çare olarak görülmeye başlanmıştır. Kablosuz haberleşme sistemlerinde, sistemin kalite ve performansını etkileyen problemler farklı kaynaklardan gelebilir.



Şekil 3.19. Metropol alanlarda kullanılan kablosuz haberleşme teknolojisi(WiMAX, IEEE 802,16)

Çok kullanıcıli haberleşme durumu düşünöldüğönde, çok sayıdaki kullanıcının kullanıcılar arası girişim olasılığı oldukça yüksektir ve bu da sistem performansını olumsuz etkilemektedir. Mobil haberleşme sistemlerinde, çoklu yol sorunu baz istasyonlarının çözmesi gereken en temel sorunlardan biridir. Baz istasyonları şiddetli çoklu yoldan kaynaklanan sönömlenme ile savaşmak için uzaysal çeşitliliği kullanmaktadır. Bunun için birkaç elemandan oluşın bir anten dizisi kullanan baz istasyonları daha yüksek seçicilik elde edebilmektedir. Alıcı anten, dizisel işaret işleme teknikleri kullanılarak bir süre için yalnızca tek bir kullanıcıya yönlendirilebilmekte, bu da başka kullanıcılardan kaynaklanabilecek girişimlerin önüne geçmektedir (Viberg, 1995).

3.3.4. Konuşma İyileştirme

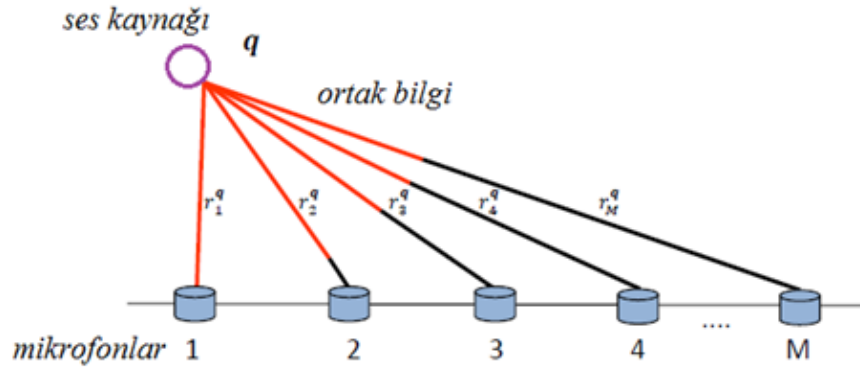
Konuşma iyileştirme ve işleme de dizisel işaret işlemenin yer aldığı alanlardan

birisidir. Tümüyle otomatik sistemler haline gelen akustik ara yüz sistemlerinin işletim ortamları birçok başka akustik kaynağı da içermektedir. Bunlar, harici gürültüler olabileceği gibi arzu edilen konuşma işaretini zayıflatan ve bastıran hoparlör işaretlerinin akustik kuplajı da olabilmektedir. Bu harici kaynaklara ek olarak konuşmacı ve mikrofon arasındaki bağıl uzaklık da istenilen işaretin gücünün düşmesine neden olmaktadır. Dizisel işaret işleme teknikleri, konuşma işaretinin olumsuz etkilenmeden ve kalitesinden ödün vermeden gürültü ve yankının bastırılmasına olanak tanımaktadır. Genel olarak dizisel işaret işleme yöntemleri konuşma iyileştirme problemi üzerinde hesapsal gücü azaltmada ve sistem performansının kalitesini arttırmada kullanılmaktadır. İşareti alt bantların bir toplamı olarak ifade etmek ve alt bant işaretleri için kaldırma süzgeçleri uyarlamak talep edilen hesapsal gücü azaltmakta ve daha yüksek performanslı bir sisteme olanak tanımaktadır. Çoklu giriş kanalının bulunması, daha yüksek kalitede sistem tasarlanmasının önünü açmaktadır. Bu da tek bir kanal ile başılamayacak olan; yer bulma, takip ve ayırma gibi problemlerin çözümünü kolaylaştırmaktadır (Çiloğlu, 2007;2012) .

3.4. YÖNTEM

3.4.1. Mikrofon Dizileri

Önceden de tanımlandığı üzere bir mikrofon dizisi, birden çok mikrofondan oluşan ve kayıt edilen akustik işaretlerden uzaysal bilginin elde edilmesini sağlayacak şekilde konumlandırılan çoklu bir algılayıcı sistemidir (Benesty ve ark., 2008). Akustik kayıt alma sistemi olarak kullanılan bir mikrofon dizisi ile gelen ses dalgalarının uzaysal özellikleri verimli bir şekilde ortaya çıkarılabilir ve bu işlem tek bir mikrofon ile mümkün olmayan bir işlemdir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi mikrofon dizisinin her bir elemanına gelen ses dalgaları arasındaki zaman farkına dayanmaktadır. Varıştaki zaman farkı olarak adlandırılabilen bu olgu, mikrofonlara ulaşan bilgi işaretleri arasında meydana gelen farklı zaman gecikmeleri olarak açıklanmaktadır. Bu olgu, mikrofonlar arasındaki fiziksel uzaklıkların bir sonucudur ve dizisel işaret işleme algoritmalarının üzerine bina edildiği, algılayıcı dizilerinin pek çoğu için geçerli olan en temel özelliktir.



Şekil 3.20. Ses dalgasının mikrofon dizisine farklı zamanlarda varışı

Şekil 3.20.'de verilen görselleştirmede; “M” mikrofon sayısını, “q” ses kaynağının konumunu, “ r_m^q ” ise m. mikrofondan ses kaynağına olan uzaklığı ifade etmektedir. Bu durumda “ τ_m^q ” ile q noktasından yayılan ses dalgasının m. mikrofona ulaşması için gereken süre gösterilebilir. Bu süre şöyle ifade edilir:

$$\tau_m^q = \frac{r_m^q}{c} \quad (3.15.)$$

Denklem (3.15.)’de c ses hızıdır ve 343 m/s olduğu bilinmektedir. r_m^q mesafeleri, q noktasının konumu bilindiği takdirde Pisagor teoremi uygulanarak basit bir geometri ile elde edilebilir. Yine bu bağıntıyı kullanarak m ve l mikrofonları arasındaki zaman gecikmesi denklem (3.16.)’de belirlenebilir.

$$\tau_{m1}^q = \tau_m^q - \tau_1^q = \frac{r_m^q - r_1^q}{c} \quad (3.16.)$$

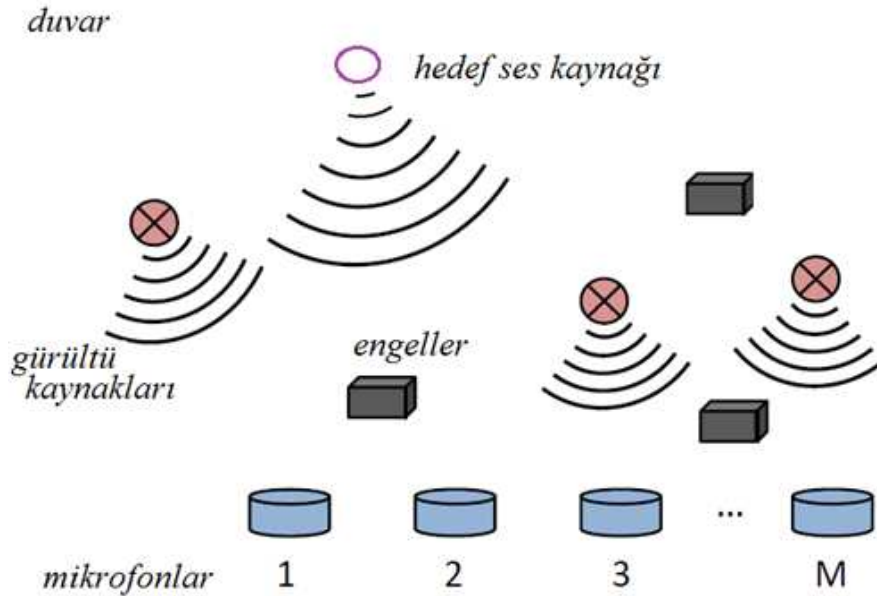
Buraya kadar olan açıklamalar ile mikrofon dizisi için temel bilgilere giriş yapılmıştır. Gelecek adımlarda da ses fiziği ile birlikte kullanılan ve/veya temel teşkil eden yöntem ve algoritmalara değinilecektir.

3.4.2. Demet Oluşturma

Ses kaynağının yerini bulma ve/veya konuşma iyileştirme gibi uygulamalar söz konusu ise, çoğunlukla kullanılacak yöntem demet oluşturma ve/veya türevleri olan algoritmalarıdır. Demet oluşturma teknikleri temelde mikrofon dizisinin bir hedef noktasına odaklanması ve dolayısı ile hedeflenen bu kaynak noktasından gelen işaretleri

almasıdır. Hedef dışındaki tüm uzaydan gelen işaretler zayıflatmaya ve/veya sıfırlanmaya tabi tutularak girişim ve bozulmalar engellenir. Bu yöntem uzaysal filtreleme olarak da adlandırılır ve sonuçta elde edilen işaret demet oluşturma işleminin yönlendirilmiş cevabı olarak nitelendirilir(Benesty ve ark. 2008).

Şekil 3.21.'de örnek bir kayıt ortamında hedef ses kaynağı, engeller, gürültü kaynakları ve mikrofon dizisi görülmektedir. Bu ortam oldukça gerçekçi bir şekilde betimlenmiştir. Ses kaynağından yayılan akustik dalgalar duvarlardan ve yayılıma engel nesnelerden yankılanacak, çeşitli gürültü kaynaklarından çıkan seslerden dolayı girişime maruz kalacak ve mikrofon dizisine oldukça bozulmuş ve/veya karışmış bir halde ulaşacaktır. Tüm bu olumsuz koşulların varlığına karşın, demet oluşturma yöntemlerinin kullanımı ile hedef ses kaynağının yeri belirlenebilmekte ve/veya konuşma üzerinde işlem yapılabilir (Brandstein ve ark. 2001). Elbette ki burada hangi demet oluşturma tekniğinin kullanılacağı da önem kazanmaktadır, nitekim bu çalışmada bu tekniklerden başarımları en yüksek olan yöntemlerden biri olan faz dönüşümlü



yönlendirilmiş cevap gücü yöntemi üzerinde durulacaktır.

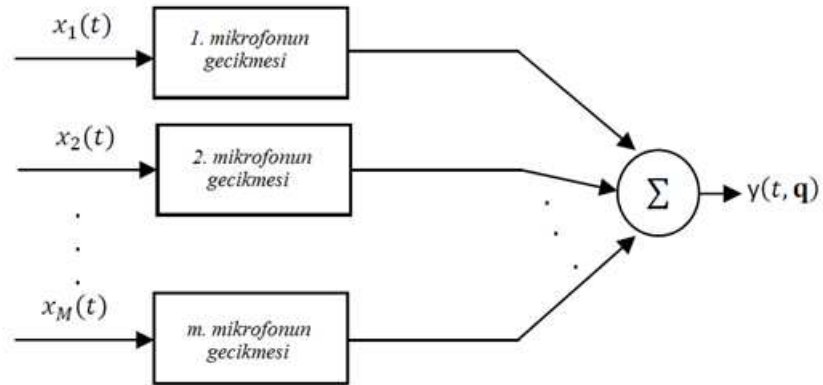
Şekil 3.21. Örnek bir kayıt ortamında hedef ses kaynağı, engeller, gürültü kaynakları ve mikrofon dizisi

Demet oluşturma, kısaca özetlenirse uzaydaki bir nokta için yönlendirilmiş bir cevap bulma işlemidir (Benesty ve ark. 2008). Bu içerikte pek çok algoritma ortaya

konmuştur. Bu algoritmalar arasında en basit ancak başarılı olan yöntem geciktir ve topla tekniğidir. Adından da anlaşıldığı üzere, bu teknikte her bir mikrofondan alınan işarete mesafe farklılıklarını telafi edecek gerekli gecikmeler uygulanır ve böylece tüm işaretler zamansal olarak üst üste getirilmiş olur. Üst üste gelen ses sinyalleri toplandığında ve/veya ortalaması alındığında ise her bir orijinal ses işaretinden daha zengin ve daha temiz bir işaret elde edilmiş olur. Geciktir ve topla algoritması temsili olarak Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Burada $y(t,q)$ ile gösterilen yönlendirilmiş cevap işaretidir ve hem mesafeye hem de zamana bağlı olan bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir.

Şekil 3.22.’de şematik olarak gösterilen işlemi uygulamada kullanılabılır hale getirmek için matematiksel olarak aşağıda verilen denklem (3.17.)’ olduğu gibi ifade etmek gerekmektedir.

$$y(t, q) = \sum_{m=1}^M x_m(t - \tau_{am}^q) \quad (3.17.)$$



Şekil 3.22. Geciktir ve Topla Tekniği

Bu ifadenin Fourier dönüşümünü alarak frekans içerikleri cinsinden de işlem yapmak mümkündür. (3.17.) denkleminin frekans domeninde yazılışı aşağıda verilen (3.18.) denklemi ile gösterilmektedir.

$$Y(w, q) = \sum_{m=1}^M X_m(w) e^{-jw\tau_{am}^q} \quad (3.18.)$$

Burada “ ω ” terimi frekans parametresini göstermektedir. Zaman gecikmesine ilişkin terim ise bu ifadede karmaşık üstel olarak yer almaktadır.

Denklem (3.17.)’de $y(t,q)$ ifadesi, denklem (3.18.)’de de $Y(\omega,q)$ ifadesi konumu işaret eden q terimine hassas bir şekilde bağlıdır. Eğer her bir mikrofondaki gürültüler, çoğunlukla kabul edildiği gibi birbirlerinden bağımsız ise ve q konumu ses kaynağının yerini doğru bir şekilde belirtiyor ise geciktir ve topla algoritması sonucunda gürültüler filtrelenmiş ve konuşma işareti güçlenmiş ve net bir şekilde elde edilmiş olur. Ancak, q konumu ses kaynağının yerini doğru göstermiyorsa tersi bir etki meydana gelecek, konuşma işareti zayıflamış ve gürültülü bir şekilde elde edilmiş olacaktır. Sonuç olarak demet oluşturma yöntemi ile oluşturulan yönlendirilmiş cevap sinyali yalnızca konum doğru olarak bulunmuş ve/veya biliniyor ise işlevini yerine getirecektir.

Geciktir ve topla algoritmasının filtreleme işlevi de eklenebilmektedir. Zaman domeninde konvolüsyon çarpımı olarak ifade edilen filtreleme işlemi, frekans domeninde basit çarpma olarak gerçekleştirilebildiğinden dolayı genellikle filtreleme frekans domeninde gerçekleştirilir ve (3.19.) denklemi ile gösterilir.

$$Y(w, q) = \sum_{m=1}^M W_m(w) X_m(w) e^{-jwr_{am}^q} \quad (3.19.)$$

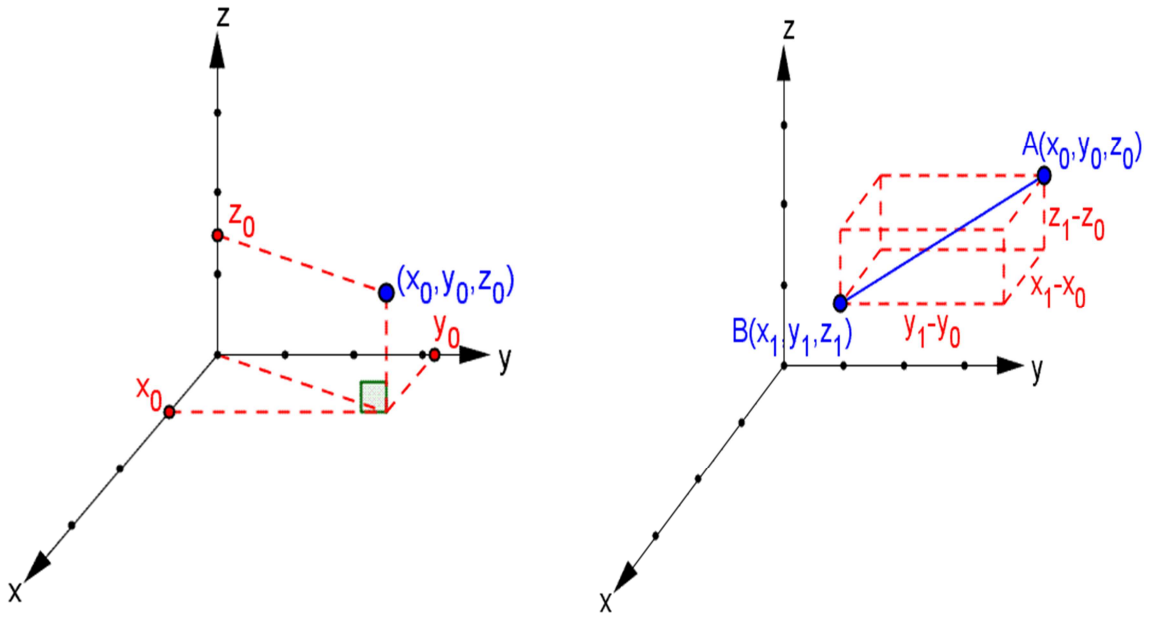
Burada $W_m(\omega)$ terimi filtreyi temsil etmektedir. Uygun ve yeterli bir filtre seçimi ortam koşulları ve ses kaynağının tipi gibi etmenlere göre belirlenir.

3.4.3. Analitik Uzay

Bir noktanın veya geometrik şeklin yerini tam olarak belirlemek için kullanılan üç boyutlu uzaya, analitik uzay denir. Analitik uzay, birbirleriyle orjin (veya başlangıç noktası) adı verilen bir noktada kesişen, birbirlerine dik üç koordinat ekseninden oluşur. Analitik uzayda her noktanın yeri üç sayı tarafından belirlenir. Bu üç sayıya söz konusu noktanın koordinatları adı verilir. Bir noktanın koordinatları yazılırken; noktanın, önce x eksenine, sonra y eksenine ve en sonunda da z eksenine ait koordinatı yazılır. Bu koordinatlara sırasıyla apsis, ordinat ve kod adı verilir.

Şekil 3.23’de verilen $A(x_0, y_0, z_0)$ ve $B(x_1, y_1, z_1)$ noktaları arasındaki uzaklık. Denklem 3.20. ile bulunur

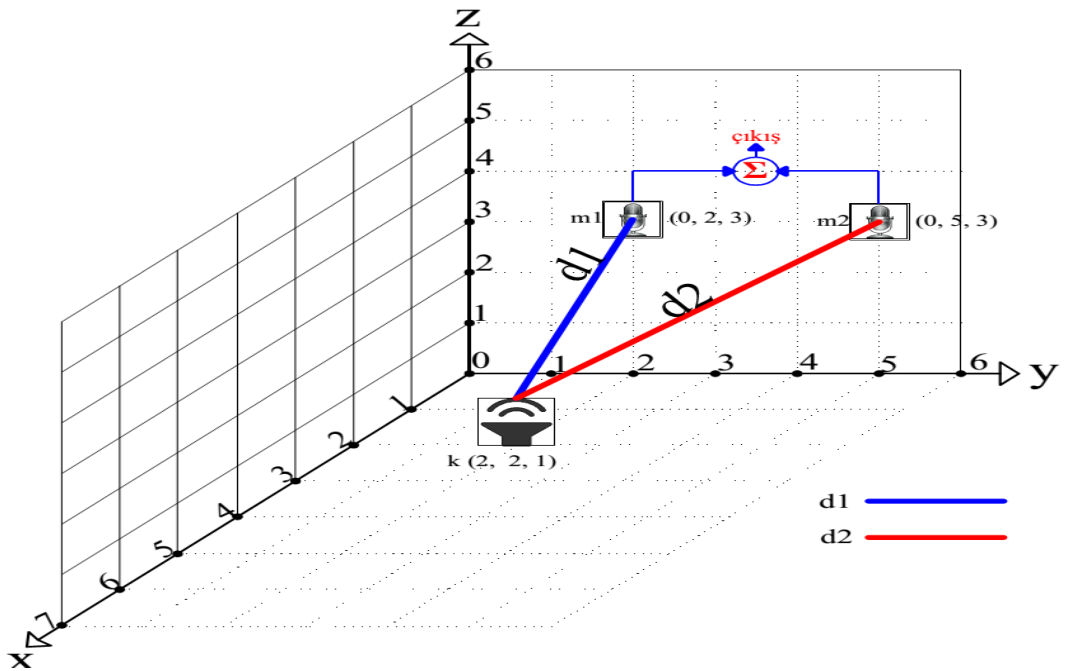
$$\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + (Z_1 - Z_0)^2} \quad (3.20.)$$



Şekil 3.23. Analitik uzayda koordinat gösterimi

3.4.4. İki elemanlı mikrofon dizisi için gecikme hesaplama

Analitik uzayda mikrofonlar arası gecikme(Delay) ve fraksiyonel gecikmeler şekil(3.24.)de verilen sistemde denklemler ile özetlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.24. Analitik uzayda 2 elemanlı mikrofon dizisi ve kaynak yerleşim planı

Çizelge 3.2. 2 elemanlı mikrofon dizisi ve kaynak koordinatları

	X	Y	Z
MİK1	0	2	3
MİK2	0	5	3
KAYNAK	2	2	1

$$d1 = \sqrt{((X_{m1} - X_k)^2 + (Y_{m1} - Y_k)^2 + (Z_{m1} - Z_k)^2)} \quad (3.21.)$$

$$d2 = \sqrt{((X_{m2} - X_k)^2 + (Y_{m2} - Y_k)^2 + (Z_{m2} - Z_k)^2)} \quad (3.22.)$$

$$d1 = \sqrt{((2)^2 + (0)^2 + (2)^2)} = 2,828 \text{ m} \quad (3.23.)$$

$$d2 = \sqrt{((2)^2 + (3)^2 + (2)^2)} = 4,123 \text{ m} \quad (3.24.)$$

İlk aşamada (3.20.)denkleminde yola çıkılarak mikrofonlar ve kaynak arasındaki mesafe d1 (3.23.) 'da ve d2 denklem (3.24.)'da verilmiştir.

$$Delay = \frac{\text{Distance}}{\text{Speed of sound}} \quad (3.25.)$$

$$t1 = \frac{d1}{343} = 6,64ms \quad (3.26.)$$

$$t2 = \frac{d2}{343} = 12,02ms \quad (3.27.)$$

Bulunan uzaklıklar 3.25. denkleminde tetkik edilmiş ve ses dalgasının her bir mikrofonu ulaşma süresi t1 denklem (3.26.)'de ve t2 denklem (3.27.)'de hesaplanmıştır.

$$Delay = |t1 - t2| = 5.38ms \quad (3.28.)$$

Dalgaların her bir mikrofonu ulaşma süresi farkları(Delay) 3.28. denklemi ile bulunup,

$$s = 44100 \text{ samples/second} \quad (3.29.)$$

$$t_s = \frac{1}{44100} = 22.675 \mu s \quad (3.30.)$$

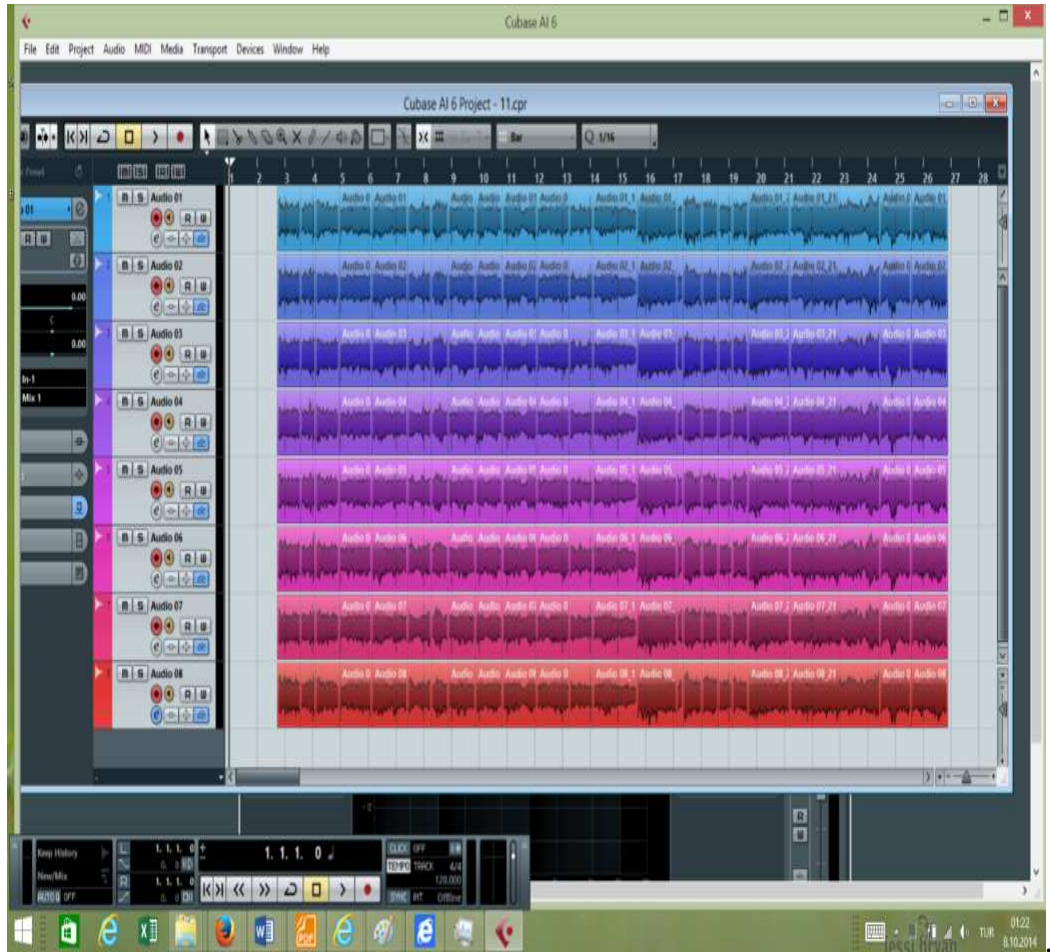
$$Delay_s = \frac{5.38 \text{ ms}}{22.675\mu s} = 237.265 \text{ samples} \quad (3.31.)$$

saniye başına Örnekleme frekansının denklem (3.29.)'de 1 örnekleme için geçen süresi Denklem 3.30. ile gösterilerek denklem 3.31. ile fraksiyonel gecikmeler hesaplanmıştır.

3.5. Yazılım

3.5.1. Cubase

Müzik kayıt ve düzenleme işlemlerinde kullanılan Cubase, Alman Steinberg firması tarafından geliştirilen dijital ses işleme istasyonu yazılımıdır Şekil 3.25. Müzik kayıt ve ses işleme yazılımları arasında saygın bir konuma sahiptir Steinberg tarafından geliştirilen asıo (Audio Stream Input/Output) teknolojisiyle uyumlu ses kartlarının kullanılması. Cubase'in daha verimli kullanılmasını sağlar(Cubase, 2014).



Şekil 3.25. Cubase’de 8 kanal ses kaydı

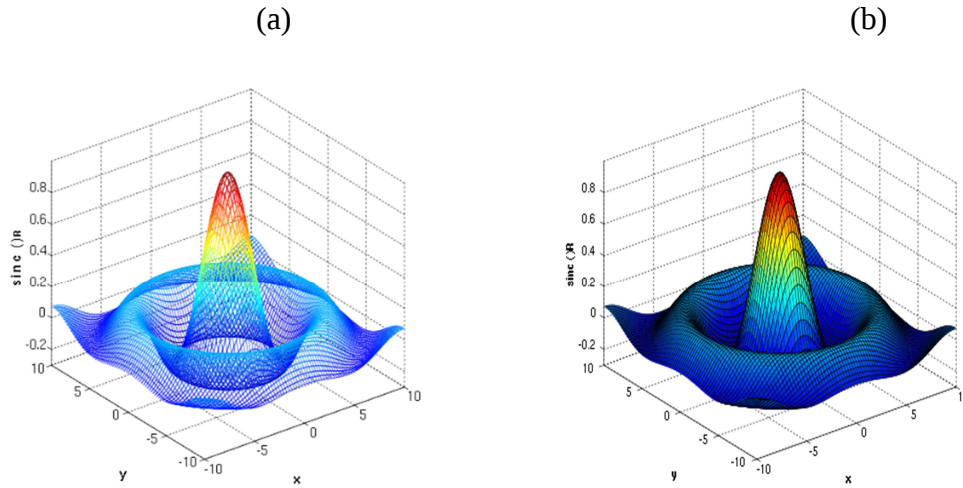
Son derece düşük gecikmeye (latency) sahip Asıo, ses işlemlerinde yazılımla ileri düzeyde bütünleşme imkânı sunarak bilgisayar donanımını daha verimli

kullanılabilmekte ve daha düşük gecikmeyle daha çok sayıda kanal, çalıştırılabilmektedir.

3.5.2. Matlab

Matematiksel problemlerin çözümü, analiz ve teknik hesaplamalar için tasarlanmış bir yazılım aracıdır. Matlab adında da anlaşılacağı üzere “matrix laboratory” kelimesinin kısaltmasıdır. Matrisler (matrix) yani diğer bir deyişle diziler (array) ile çalışır. Özellikle mühendislik alanındaki sistemlerin analizinde kullanılan matlab görüntü işleme (image processing), yapay sinir ağları (artificial neural networks), sayısal işaret işleme (signal processing), optimizasyon (optimization), veri elde etme (data acquisition), veritabanı (database), süzgeç tasarımı (filter design), bulanık mantık (fuzzy logic), sistem kimliklendirme (system identification), dalgacıklar (wavelets) gibi araçları ile kullanıcılara çözümler sunar(Matlab, 2014).

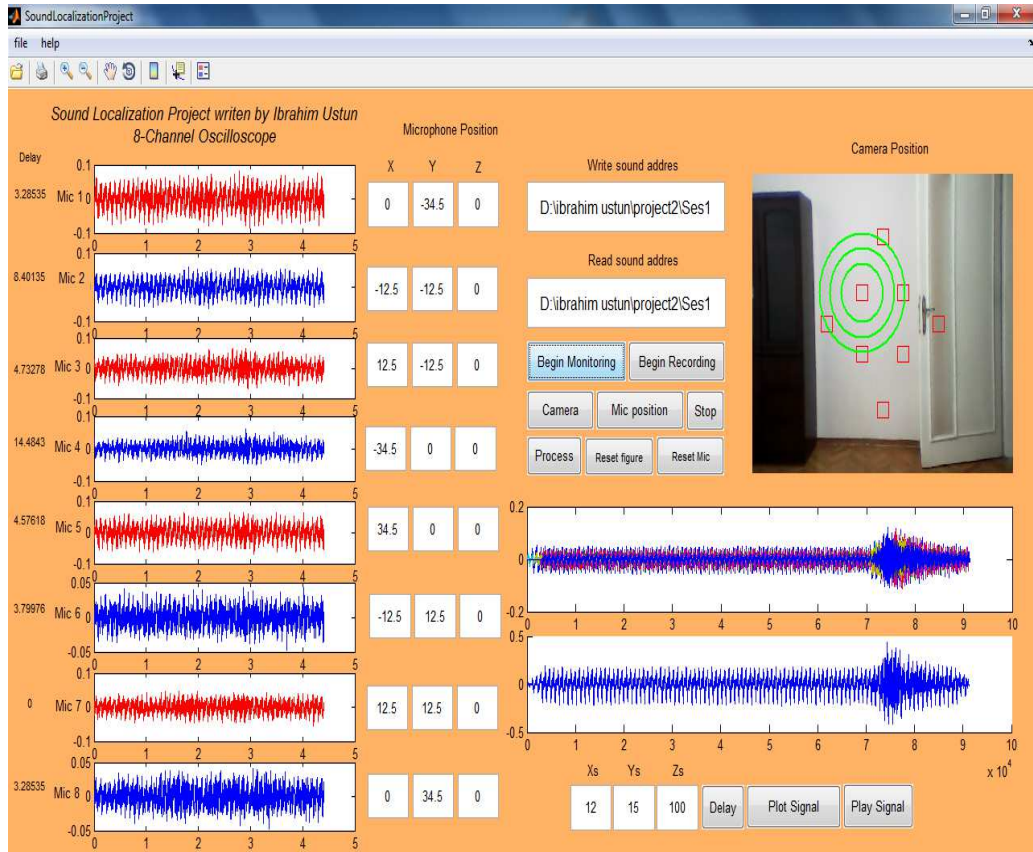
Matlab’ın nasıl bir yazılım olduğunu anlamak için onu çok gelişmiş özellikleri olan, programlanabilen bir bilimsel hesap makinesine benzetebiliriz. matlab’de yazılan programlar, matlab’ın kendine özgü dili kullanılarak yazılır ve matlab içinden çalıştırılır. Ayrıca yazılan programları dll ve exe olarak çalıştırmaya olanak sunar. C, C++, Java, ve Fortran dillerini içerir. Matlab gui geliştirme aracını kullanarak, formlar ve butonlar gibi nesnelerden oluşan görsel yazılımlar geliştirmeye izin verir



Şekil 3.26. (a) Matlab mesh komutu ile üretilmiş 2 boyutlu 3D wireframe grafiği

Şekil 3.26. (b) Matlab surf komutu ile üretilmiş 2 boyutlu 3D surface grafiği

Bu tez çalışması için Matlab gui kullanılarak FMD ile 8 kanal sinyalin ses kaydı ve işlenebilmesi için tasarlan programın ara yüz görüntüsü Şekil 3.27.'de verilmiştir. Program; FMD ve odaklama yapılacak nokta koordinatlarının sisteme tanıtılmasına, oluşturulacak WAV² dosyasının kayıt yapılacağı ve istenildiğinde tekrar çağrılacağı klasörün belirlenmesine, sinyallerin ve odaklama yapılacak noktaya göre inşa edilen toplam sinyalin görüntüleri anlık olarak takip etmeye imkân sağlamaktadır.



Şekil 3.27. Geliştirilen programın ara yüz görüntüsü

3.6. Donanım

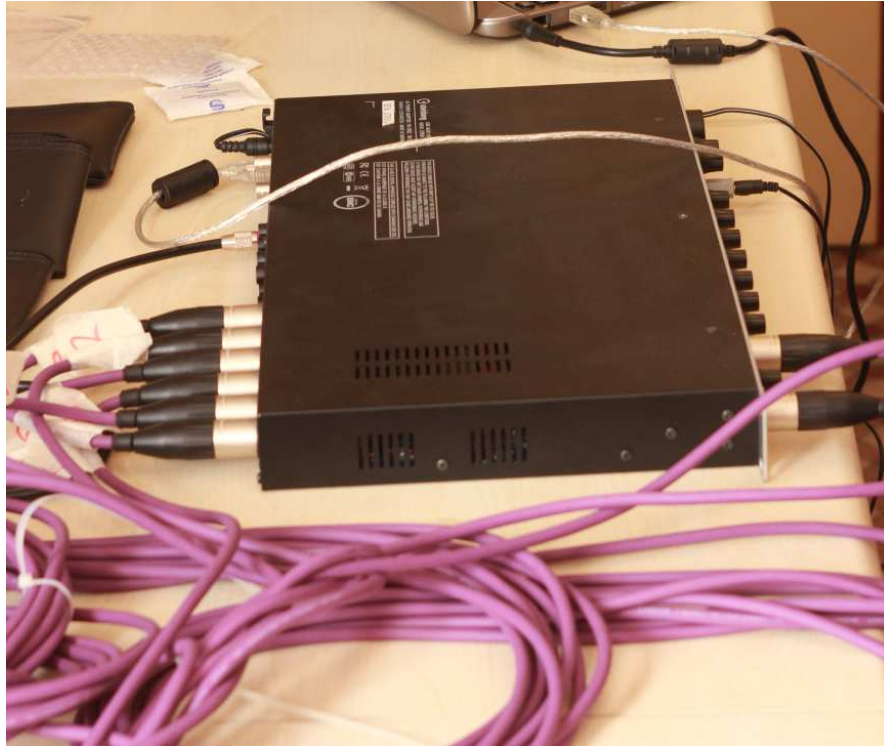
3.6.1. Ses kartı

Ses kartı olarak 8 kanal olarak 24-bit, 96 kHz örnekleme yapabilen *steinberg ur 824* modeli tercih edilmiştir. Usb 2.0 bağlantılı olan ur824, dijital sinyal işleme destekli

² Wav ses sinyallerinin sayısallaştırılmış halidir. Basit yapıdırılar ancak çok yer kaplarlar, bilgisayarda bile kaliteli ses verebilirler. Dosyayı WAW olarak adlandıran kısım, değişkenlerin nitelendirildiği kısım ve müzik parçasının depolandığı kısım olmak üzere toplam üç bölümden oluşur (Çontar, 2010).

dâhili mixer, dijital, analog giriş, analog çıkış ve mikrofon preamplifikatörlerine sahiptir.

Ur824'ün ön panelinde iki adet neutrik combo trs/xlr girişi üzerinden balanslı mikrofon line girişi mevcuttur. Ek olarak her kanal için +48 Volt Phantom power, Hi-Z ve pad düğmeleri ile peak göstergeli seviye kontrol düğmeleri bulunmaktadır. Bu kontrollerin yanında kulaklık seviyeleri ve 8 line çıkışın seviyelerini kontrol eden üç düğme bulunmaktadır. Ön paneldeki seviye kontrol düğmesinin kontrol edeceği çıkış yazılım aracılığı ile belirlenmektedir. Şekil (3.28.)'de görüleceği üzere gelişmiş giriş ve çıkış özellikleri ile Ur824 birçok cihazı aynı anda bağlayabilmenizi sağlar. İki kanallı ses kartı olarak 4 adet *m-audio firewire* solo kullanılmıştır.



Şekil 3.28. 8 kanal ses kartı steinberg ur 824

3.6.2. FMD’de kullanılan mikrofon

Dizide 8 adet rode nt5 kondansatör mikrofon kullanılmıştır Şekil (3.29.). Düşük gürültü oranı 20Hz - 20kHz frekans cevabı ve yüreksele tip oluşu nedeniyle tercih edilmiştir. Mikrofon nt5, akustik çalgı aleti ve canlı performanslar için kullanışlıdır.



Şekil 3.29. kapasitif mikrofon rode nt5s

3.6.3. Veri toplama sistemleri kartı

Veri toplama sistemleri kartı olarak 16 kanala sahip usb 2.0 desteği olan national instruments firması tarafından geliştirilen ni 6221 modeli kullanılmıştır Şekil (3.30.).



Şekil 3.30. Veri toplama sistemleri kartı (Nİ 6221)

3.6.4. Geliştirilen sistemler

Ses kaydı ve demetleme işlemi için 3 farklı sistem kurulmuştur. Birinci sistem 8 kanal ses kartı, 8 adet mikrofon ve bilgisayardan oluşturulmuştur bağlantı şeması Şekil 3.31.'de verilmiştir. İkinci sistem 4 adet 2 kanal ses kartı, 1 adet yükselteç(amplifikatör), 8 adet mikrofon ve bilgisayardan oluşturulmuştur bağlantı şeması Şekil 3.32.'de verilmiştir. Üçüncü sistem 1 adet Veri toplama sistemleri kartı, 1 adet yükselteç(amplifikatör), 8 adet mikrofon ve bilgisayardan oluşturulmuştur bağlantı şeması Şekil 3.33.'de verilmiştir. Geliştirilen mikrofon dizisinin diziliş şeması şekil 3.30 de verilmiştir. Sistemlerin maliyet tablosu Çizelge (3.1):(3.2):(3.3)'de Türk Lirası cinsinden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Sistem 1 Maliyet Tablosu

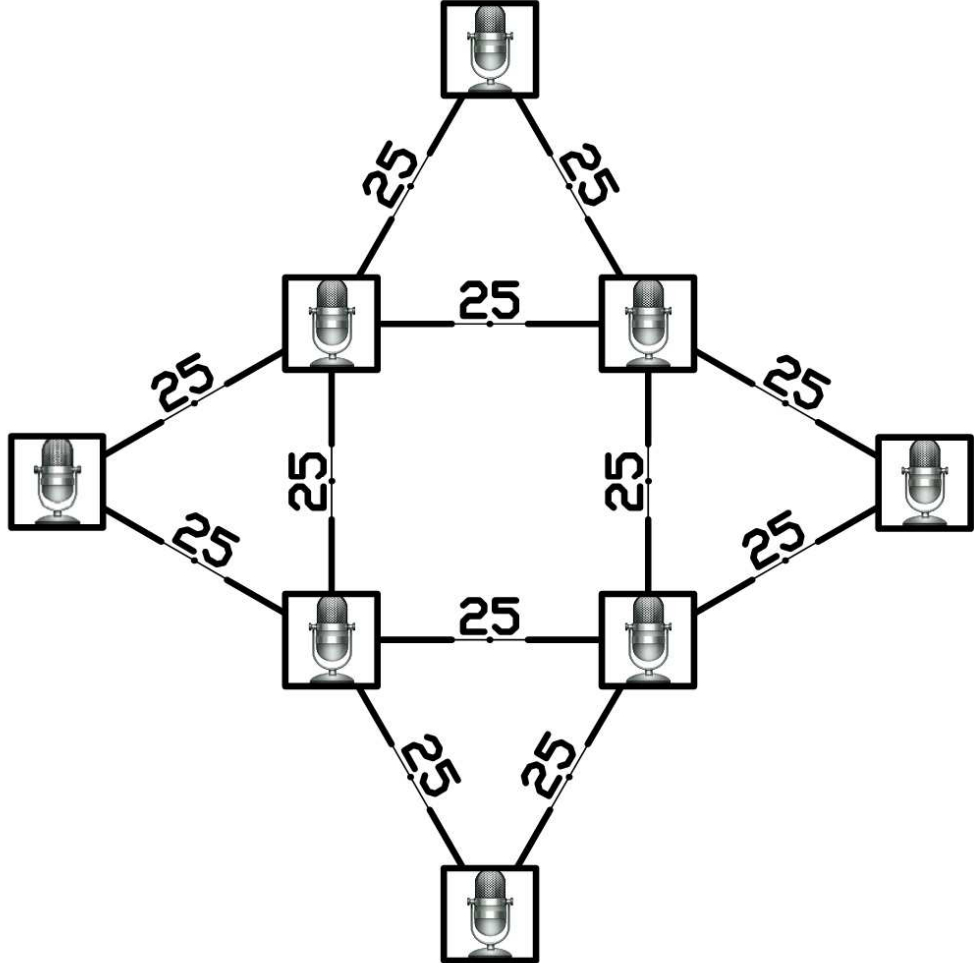
ÜRÜN	ADET	ADET FİYATI	KDV	TOPLAM
8 Kanal Ses Kartı + Cubase	1	2049	369	2418
Mikrofon Dizisi Ayaklık	1	200	36	236
Xlr Kablo 5m	8	30	5,4	283,2
Kapasitif Mikrofon	8	526	94	4960
Bağlantı Elemanları	1	100	18	118
Bilgisayar	1	3000	540	3540
Genel Toplam				11555,2

Çizelge 3.2. Sistem 2 Maliyet Tablosu

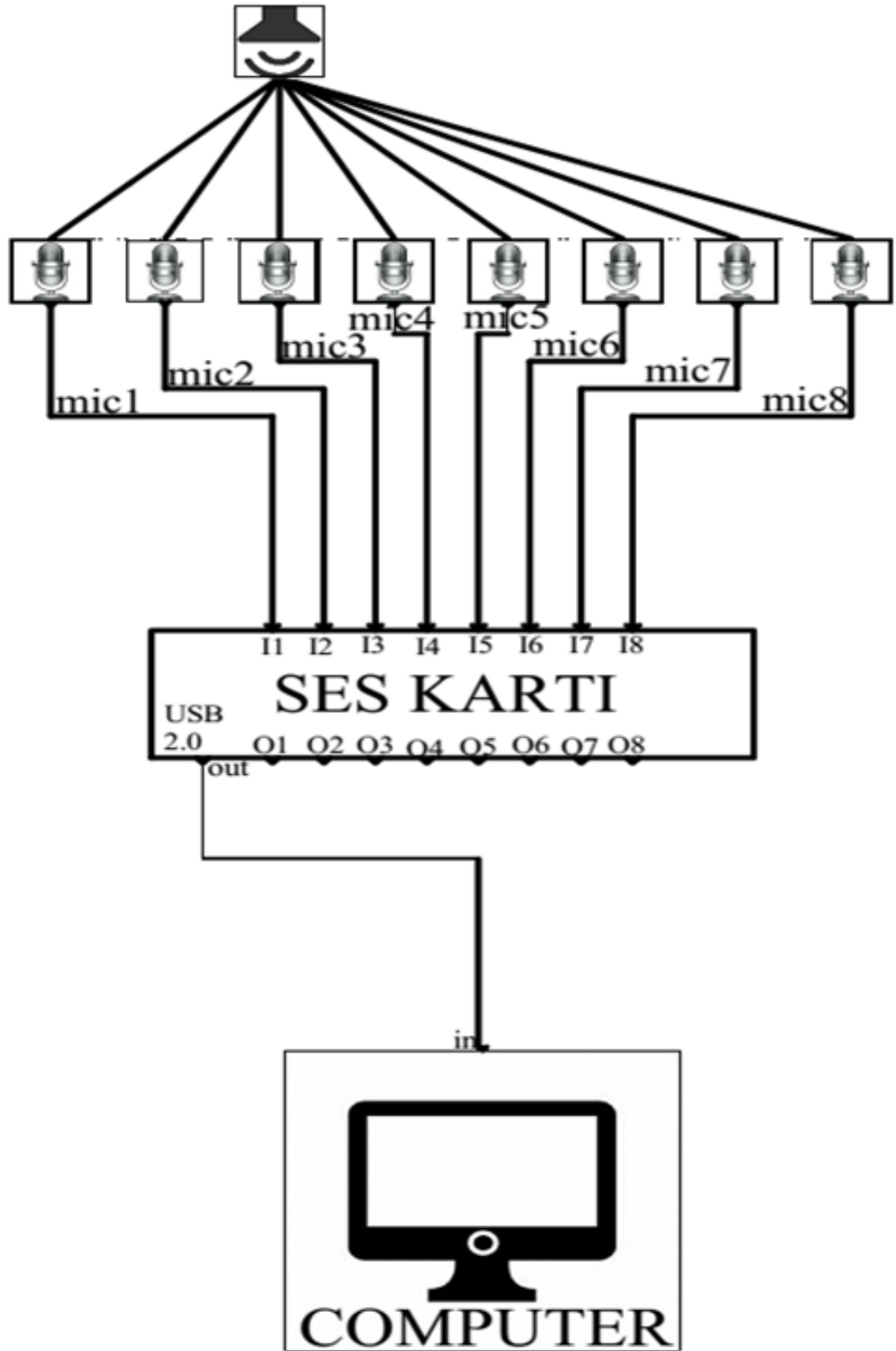
ÜRÜN	ADET	ADET FİYATI	KDV	TOPLAM
2 Kanal Ses Kartı	4	604	109	2852
Mikrofon Dizisi Ayaklık	1	200	36	236
8 Kanal Preamfi	1	2049	369	2418
Xlr Kablo 5m	8	30	5,4	283,2
Kapasitif Mikrofon	8	526	94	4960
Bağlantı Elemanları	1	200	36	236
Bilgisayar	1	3000	540	3540
Genel Toplam				14525,2

Çizelge 3.3. Sistem 3 Maliyet Tablosu

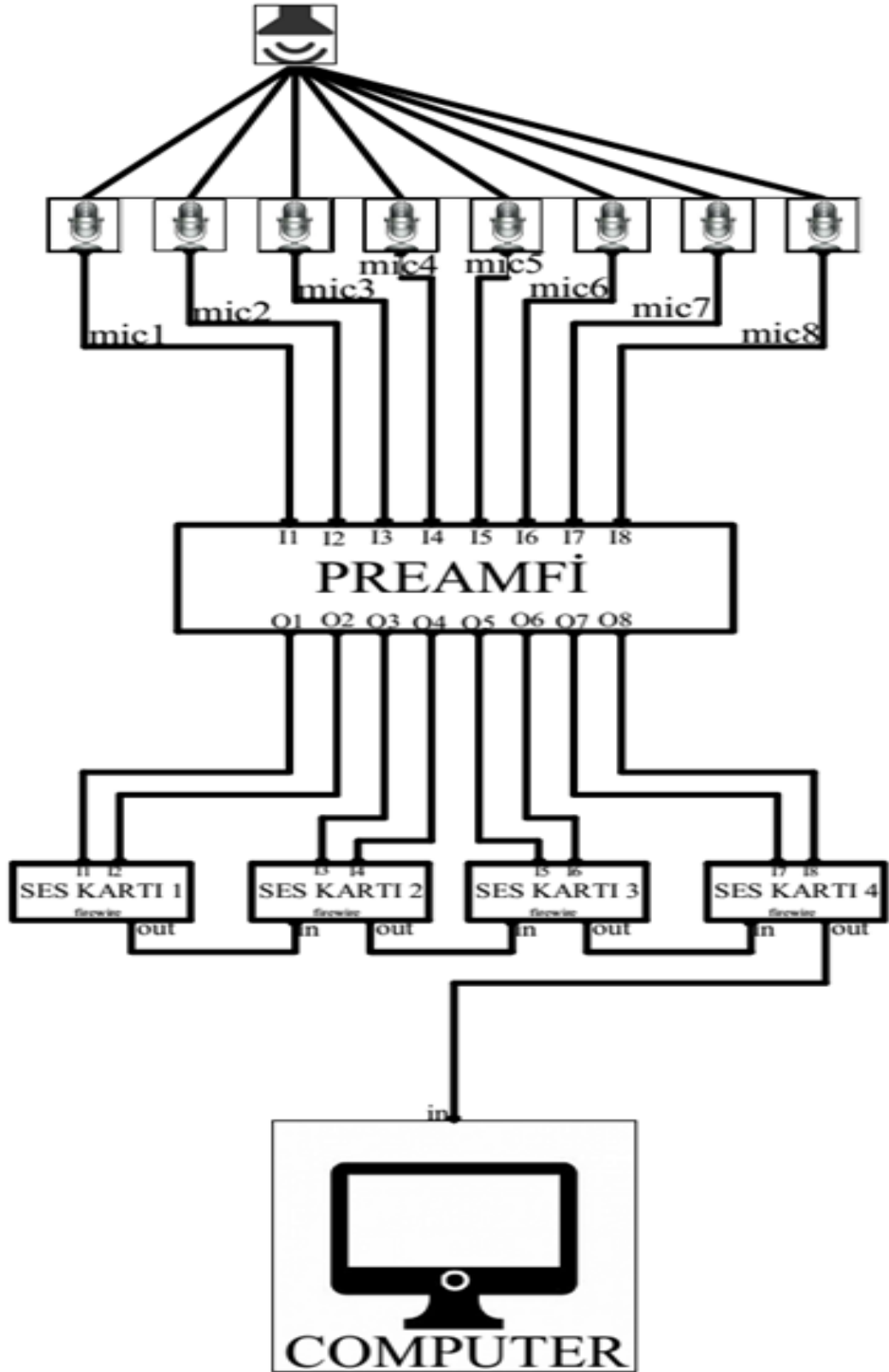
ÜRÜN	ADET	ADET FİYATI	KDV	TOPLAM
8 Kanal Preamfi	1	2049	369	2418
Veri Toplama Kartı	1	4045	728	4773
Mikrofon Dizisi Ayaklık	1	200	36	236
Xlr Kablo 5m	8	30	5,4	283,2
Kapasitif Mikrofon	8	526	94	4960
Bağlantı Elemanları	1	300	54	354
Bilgisayar	1	3000	540	3540
Genel Toplam				16564,2



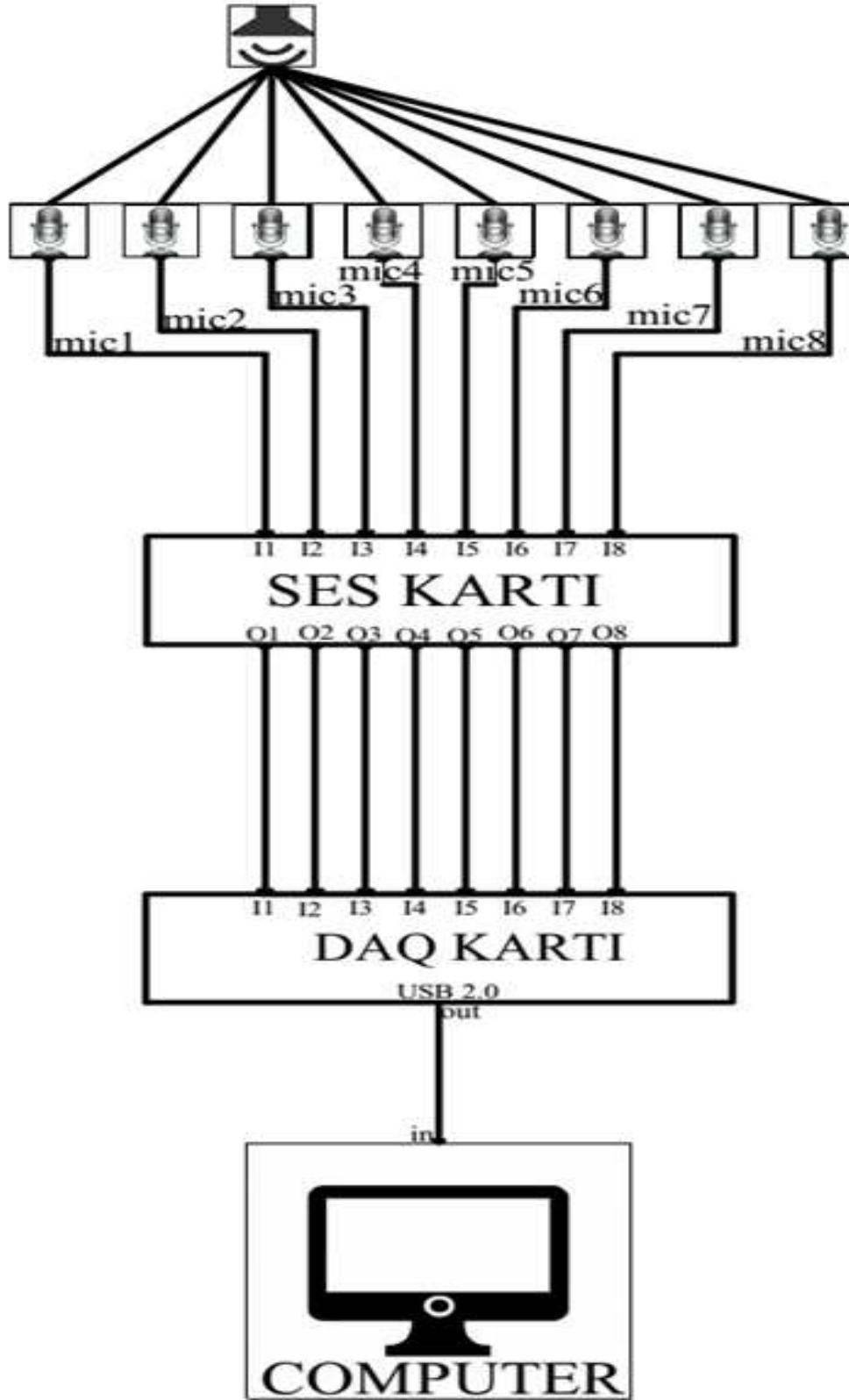
Şekil 3.31. Geliştirilen mikrofon dizisi arası kesitler cm cinsinden



Şekil 3.32. Sistem 1 bağlantı şeması



Şekil 3.33. Sistem 2 bağlantı şeması



Şekil 3.34. Sistem 3 bağlantı şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Ses sinyallerinin kaydı sırasında 192000 Hz e kadar örnekleme alabilen 8 kanallı bir ses kartı kullanılmıştır (Şekil 3.32.). Verilerin gerçek zamanlı işlenmesi aşamasında matlab yazılımı ses kartının sadece 2 kanalını tanımış diğer 6 kanalın kullanılmasına imkân tanımamıştır. Bu sorun birbirine seri bağlanmış 4 adet 2 kanallı ses kartı kullanılarak giderilmiştir (şekil 3.33.).

2 kanallı ses kartlarının birbirine seri bağlanması sinyallere 250 ms'nin üzerinde fazladan gecikme miktarları eklemiştir. Mikrofonlara gelen sinyallerin 2 kanallı ses kartlarına bir yükselteç(amplifikatör) yardımı ile iletilmesi sinyallerin sayısal veriye dönüştürülmesi aşamasında gecikmeye neden olmuştur. Demetleme işlemi için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları 0-3 ms arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda iki kanallı ses kartları yüksek ve dengesiz gecikme miktarları kabul edilemez bir durum oluşturmuştur.

Bu durum matlab'ın doğrudan tanıdığı veri toplama sistemleri(Data Acquisition) kartları kullanılarak aşılmıştır(şekil 3.34.). Veri toplama sistemleri kartı(nidaq 6221 usb) 2 kanallı ses kartlarına göre kanallara dengeli gecikmeler eklemiş ancak kanal başına düşük örnekleme sayısı nedeniyle sinyal enerji seviyeleri istenilen düzeye ulaşamamıştır. Sisteme eklenen her bir cihazın maliyeti artırmasının yanında sistemi istikrarsız bir duruma sokması nedeniyle Şekil 3.32. de bağlantı şeması verilen sistem 1 tercih edilmiştir.

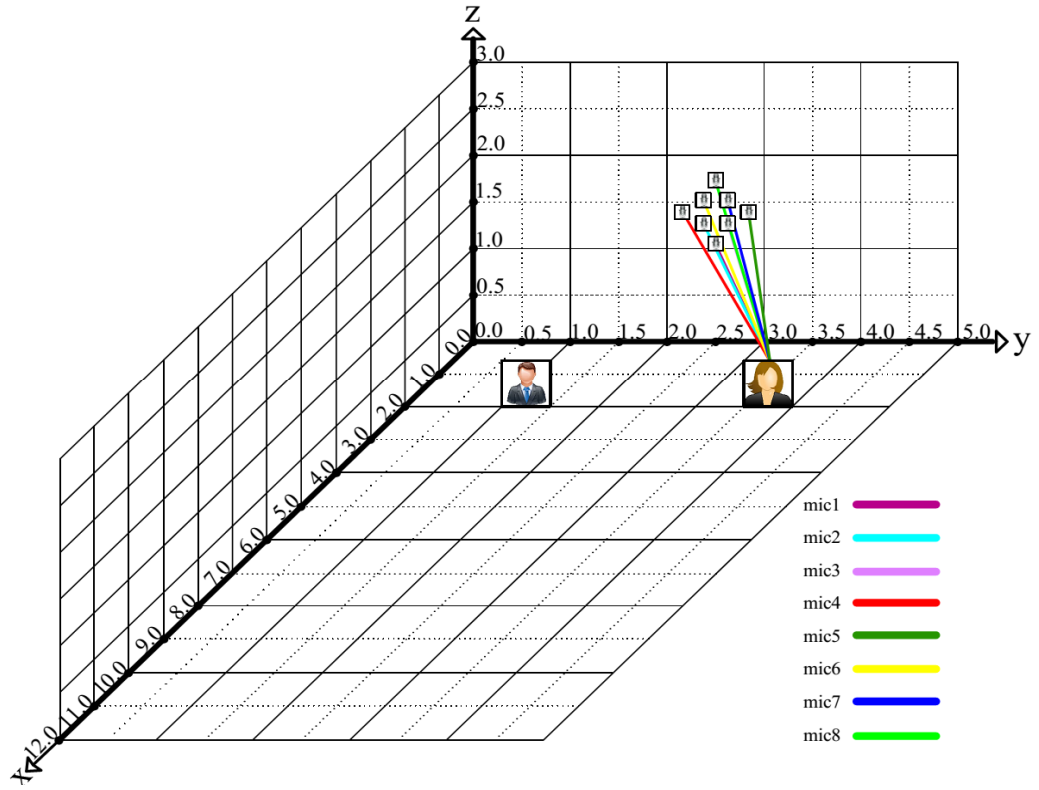
Mikrofon dizisinden alınan sinyallerin her birini farklı kanallarda sayısal verilere dönüştürerek, bu sayısal verileri wav dosyası formatında kayıt edebilmek için 8 kanal ses kartı ve cubase yazılımından faydalanılmıştır. Her bir kanal için saniyede 44100 örnekleme olmak üzere 8 kanal için saniyede toplam 352.800 örnekleme alınmıştır. Yapılan deneylerde mikrofon dizisine 2,5 metreden 6,5 metreye kadar uzaklıkta bulunan ikili, üçlü, dördü, beşli, altılı ve sekizli konuşmacılardan 2 saniyeden 7 saniyeye kadar 705.600 örneklemeden 2.469.600 örnekleme kadar alınan ses kayıtları işlenmiştir. Bu bölümde ikili, üçlü, dördü, beşli, altılı ve sekizli konuşmacılarla yapılan deneyler sonucu istenilen noktalara demetleme işlemi yapılarak elde edilen sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum genlik değerlerinden oluşan bulgular tartışılacaktır.

4.1. İki Konuşmacı Arasından Ses Seçimi

Uygulamada kullanılan veriler şekil 4.1.'de gösterilen 8 mikrofondan oluşan FMD yardımı ile kaydedilmiştir. Odaklanılan ortam 5m x 3m x 12 m ebatlarında konferans salonudur. 250 cm arayla oturtulmuş bir bay ve bir bayandan oluşan iki konuşmacı aynı anda konuşmuşlardır. Şekil 4.2.'de konuşmacıların ve FMD'nin analitik uzayda modellenmesi verilmiştir. FMD'de bulunan 8 adet mikrofona koordinatları Çizelge 4.1.'de, konuşmacılara ait koordinatlar Çizelge 4.2.'de verildiği gibidir. Y, dizinin yatay boyutunu, Z dikey boyutunu X ise düzlemden uzaklığı ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Geliştirilen 8 Elemanlı mikrofona dizisi(FMD)



Şekil 4.2. FMD ve iki konuşmacının analitik uzayda gösterimi

Çizelge 4.1. FMD koordinatları

Mikrofon No	X	Y	Z
1	0	2,5	1,1
2	0	2,37	1,31
3	0	2,62	1,31
4	0	2,15	1,44
5	0	2,84	1,44
6	0	2,37	1,56
7	0	2,62	1,56
8	0	2,5	1,78

Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. Ses bilgisi 4,905 saniye uzunluğundan oluşan 216342 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Ses seçimi yapılmak İstenilen konum için her bir mikrofona ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları Çizelge 4.3.’de verildiği gibidir. .

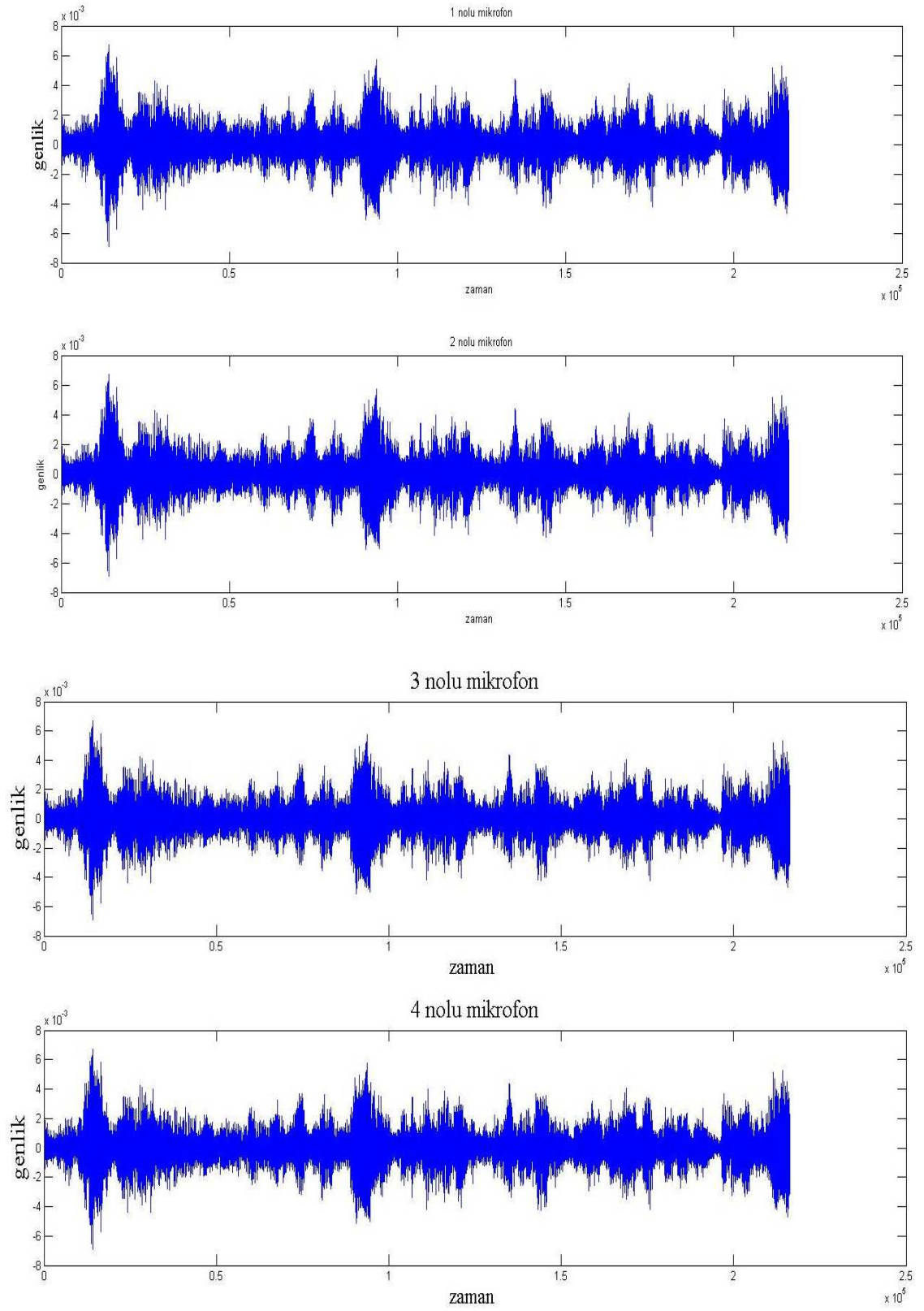
Çizelge 4.2. İki Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bayan)	2,1	3,75	1,12
2(Bay)	2,1	1,25	1,31

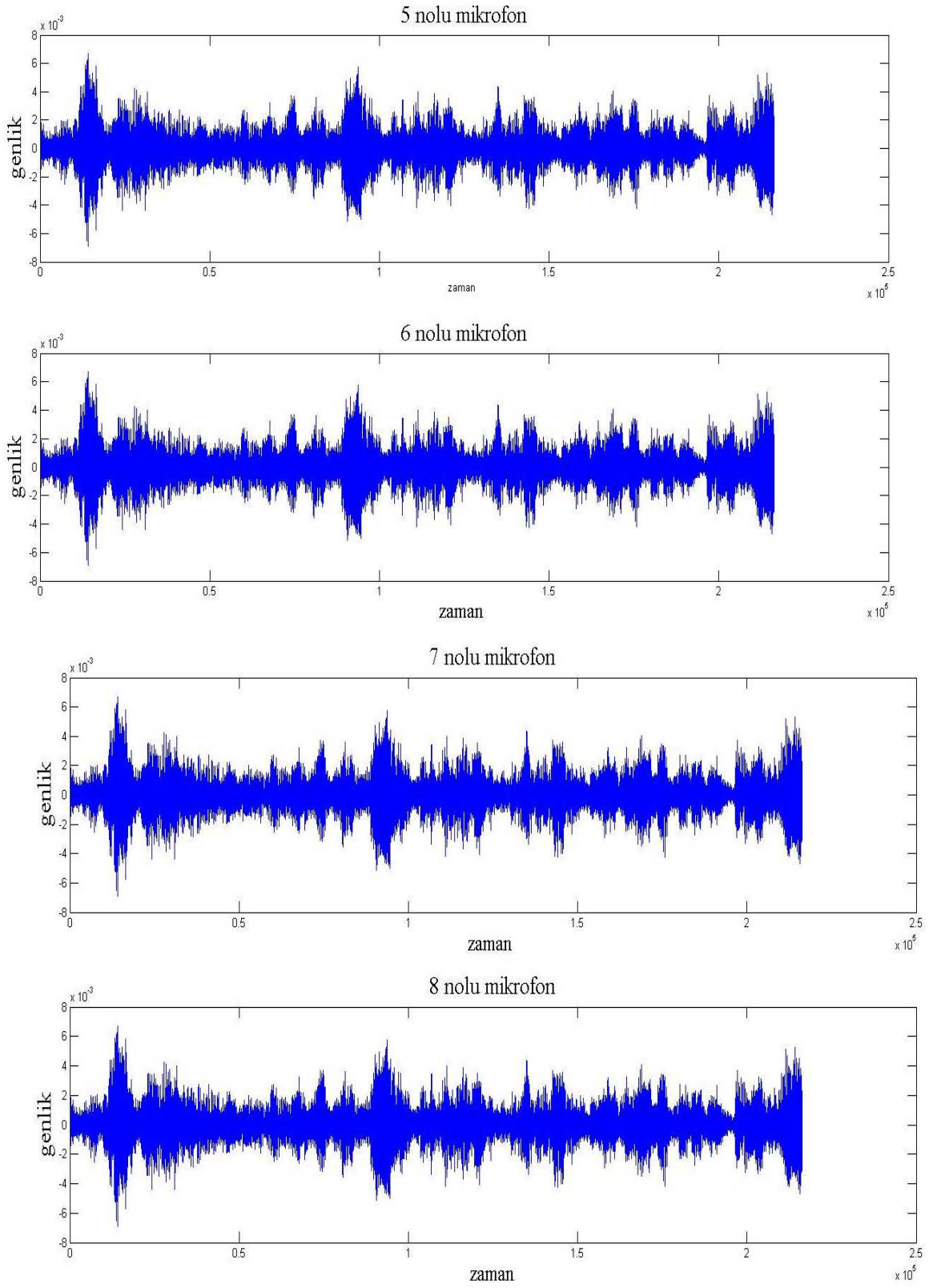
Çizelge 4.3. İki konuşmacıya göre FMD'ye uygulanacak gecikme miktarları

	Mikrofon No:	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark metre	Gecikme ms	Uygulanacak Gecikme
1. Konuşmacı İçin	1	2,444	0,133	0,391	27,945
	2	2,520	0,209	0,615	18,078
	3	2,392	0,081	0,239	34,647
	4	2,659	0,348	1,025	0,000
	5	2,311	0,000	0,000	45,196
	6	2,551	0,240	0,706	14,050
	7	2,425	0,114	0,335	30,406
	8	2,531	0,220	0,648	16,599
	Mikrofon No:	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark metre	Gecikme ms	Uygulanacak Gecikme
2. Konuşmacı İçin	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,380	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0,000	0,000	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0,000
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,520	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,200	0,589	19,272

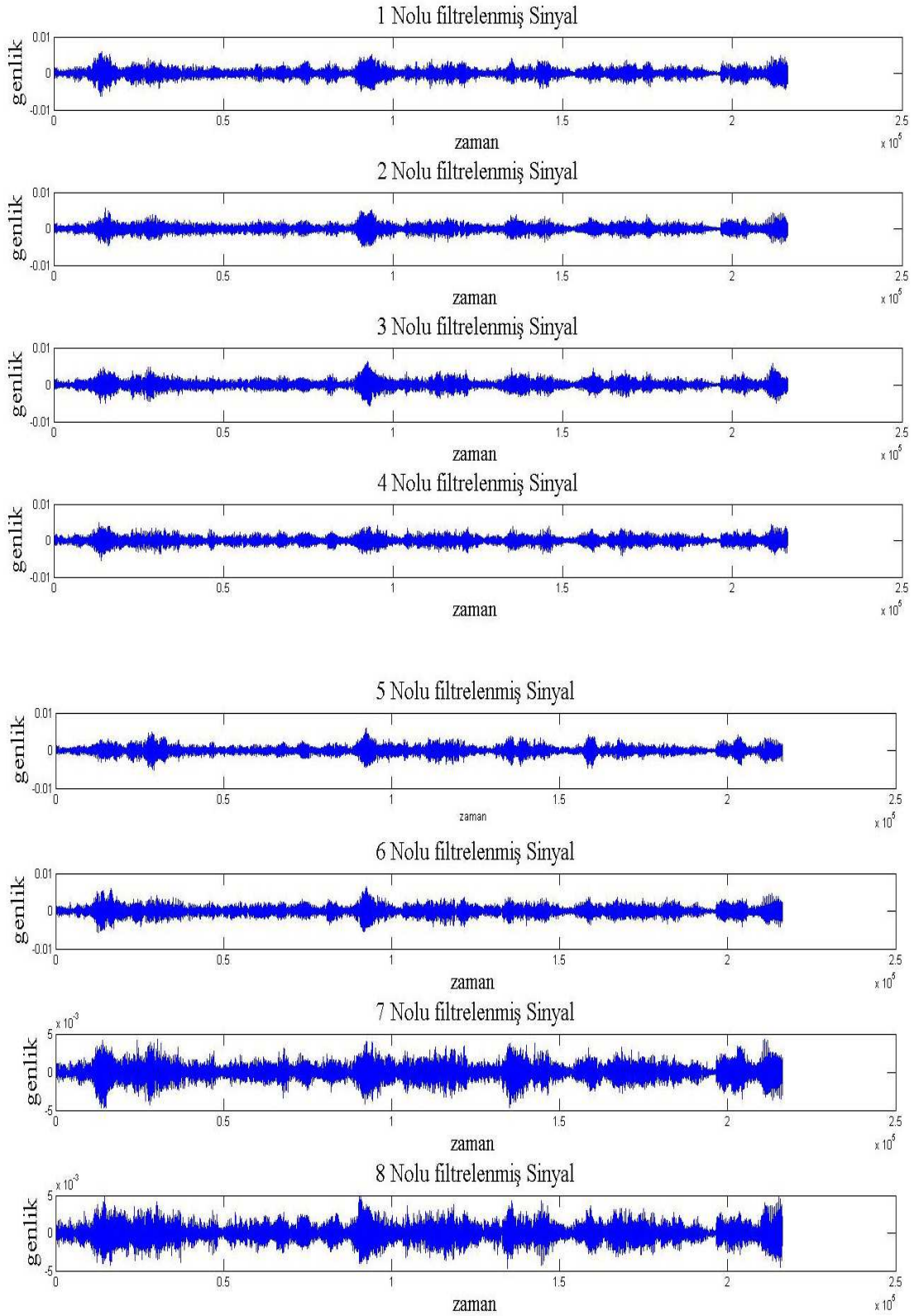
FMD de her bir mikrofona ait giriş sinyalleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de verilmiştir. Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşan sinyal Şekil 4.6.'da görüldüğü gibidir. Giriş sinyallerindeki gürültüleri temizlemek için ön süzgeçleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.5.'de filtre uygulanmış giriş sinyal görüntüleri verilmiştir. 2. Konuşmacı üzerine demetleme işlemi için filtre uygulanmış sinyallere geciktir ve topla tekniği uygulanmıştır. Geciktir ve topla uygulanması sonucu oluşan sinyallerin görüntüsü Şekil 4.7.'de verilmiştir.



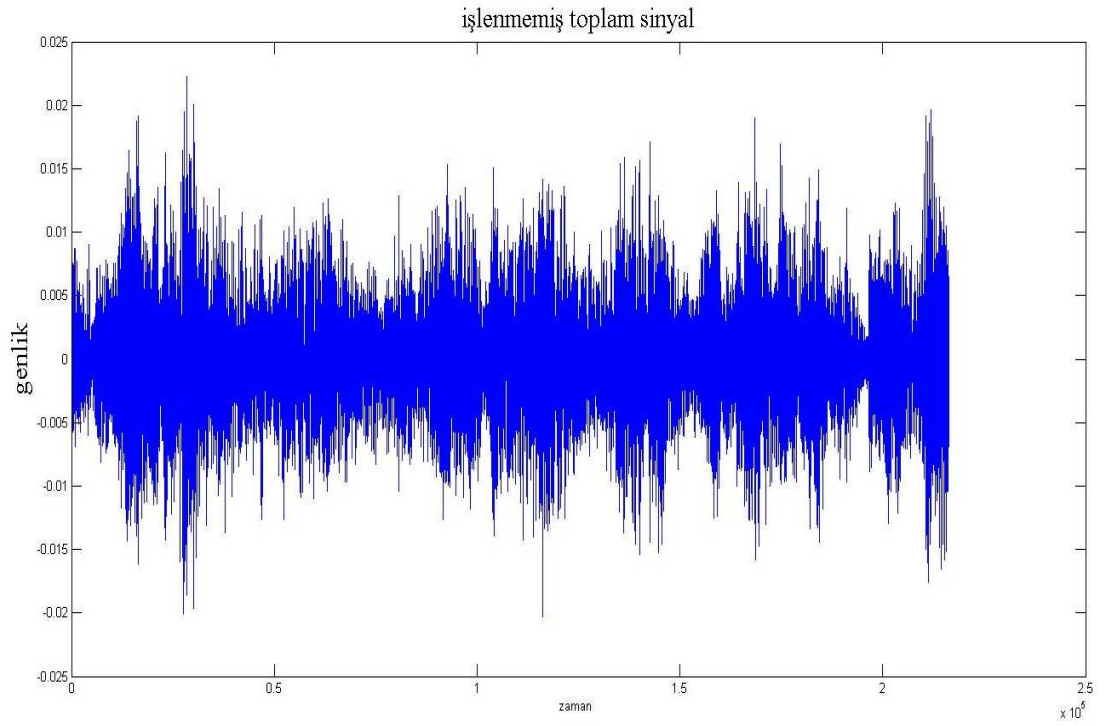
Şekil 4.3. 1,2,3 ve 4 numaralı mikrofonlara ait giriş sinyal görüntüsü



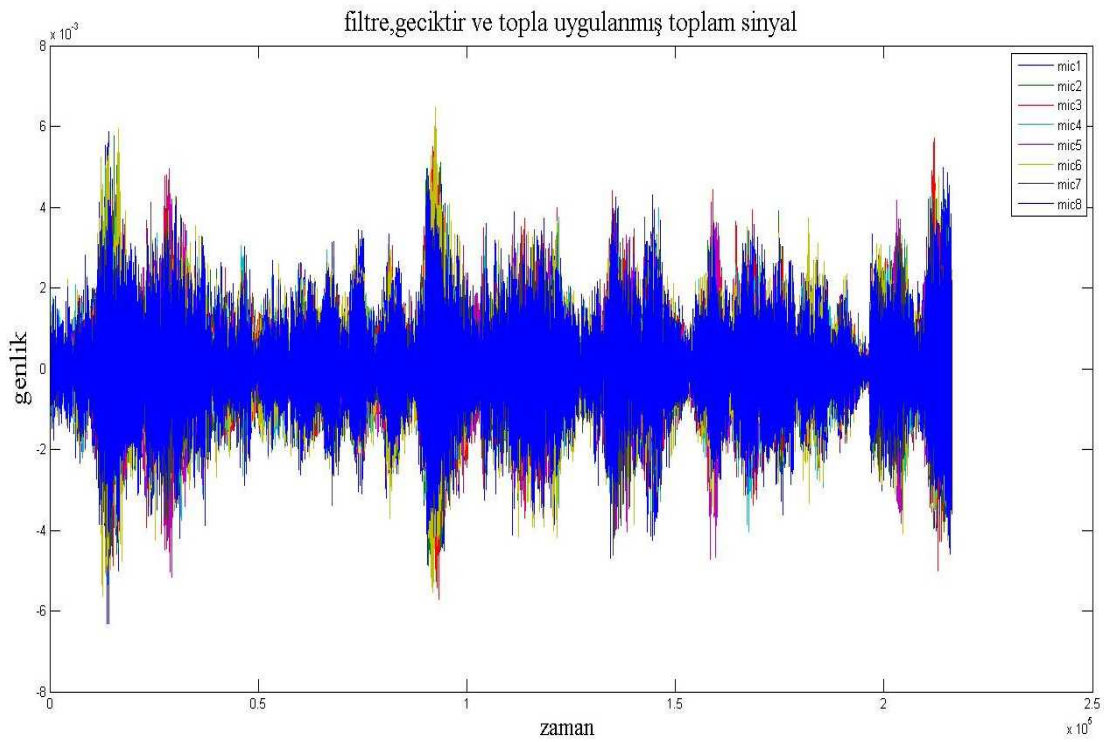
Şekil 4.4. 5,6,7 ve 8 numaralı mikrofonlara ait giriş sinyal görüntüsü



Şekil 4.5. FMD' ye ait sinyallerin filtrelenmiş görüntüsü



Şekil 4.6. FMD'ye ait sinyallerin toplam sinyal görüntüsü



Şekil 4.7. Filtrelenen FMD'ye ait sinyallerin 2. Konuşmacıya göre geciktir ve topla uygulanması sonucu oluşan toplam sinyal görüntüsü

Birinci ve ikinci konuşmacı üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin,
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyalin,
- Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyalin,

Matlab sum fonksiyonu yardımı ile birim kareleri alınarak hesaplanan sinyal enerjileri ve elemanları içerisindeki en büyük değerler çizelge 4.4.'de, çizelge 4.5. 'de ve çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. İki konuşmacı için filtrelenen FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	Filtrelenmiş sinyal Maksimum Değer
1	0.2575	0.2382	0.0067	0.0059
2	0.2020	0.1853	0.0064	0.0058
3	0.1974	0.2155	0.0065	0.0062
4	0.1942	0.1801	0.0054	0.0050
5	0.1974	0.1815	0.0063	0.0059
6	0.2692	0.2499	0.0067	0.0065
7	0.2044	0.1894	0.0047	0.0043
8	0.2460	0.2292	0.0055	0.0050
Top. Sinyal	4,4657	4,3279	0.0223	0.0210

Çizelge 4.5. İki konuşmacı içerisinde birinciye göre demetleme yapılan FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	0.2575	0.2382	0.0067	0.0059
2	0.2020	0.1853	0.0064	0.0058
3	0.1974	0.2155	0.0065	0.0062
4	0.1942	0.1801	0.0054	0.0050
5	0.1974	0.1815	0.0063	0.0059
6	0.2692	0.2499	0.0067	0.0065
7	0.2044	0.1894	0.0047	0.0043
8	0.2460	0.2292	0.0055	0.0050
Top. Sinyal	4,4657	4,8219	0.0223	0.0267

Çizelge 4.6. İkinci konuşmacıya göre FGT uygulanan FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	0.2575	0.2382	0.0067	0.0059
2	0.2020	0.1853	0.0064	0.0058
3	0.1974	0.2155	0.0065	0.0062
4	0.1942	0.1801	0.0054	0.0050
5	0.1974	0.1815	0.0063	0.0059
6	0.2692	0.2499	0.0067	0.0065
7	0.2044	0.1894	0.0047	0.0043
8	0.2460	0.2292	0.0055	0.0050
Top. Sinyal	4,4657	5,084	0.0223	0.0257

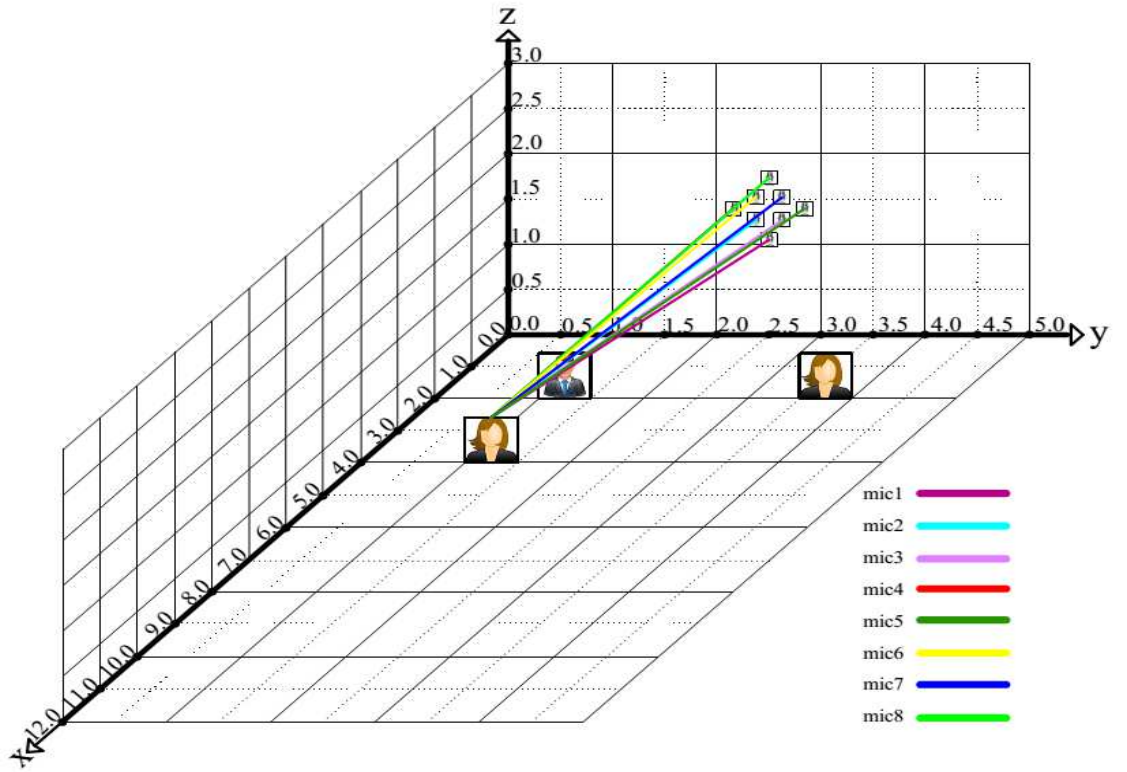
İki konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir;

- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.4.)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.5: 4.6)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin toplamı ile oluşan sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden büyük çıkmıştır. (Çizelge 4.5: 4.6)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofonu ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.5: 4.6)
- Geciktirme ve filtreleme uygulanarak oluşan Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofonu ait değerlerden 23 kat, filtre uygulanmış sinyal değerlerinden 24 kat fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.5: 4.6)

İlerleyen bölümlerde diğer parametreler aynı kalmak kaydıyla konuşmacı sayıları arttırılacak farklı konuşmacılar üzerine demetleme yapılarak elde edilen sonuçlar verilecektir.

4.2. Üç konuşmacı Arasından Ses Seçimi

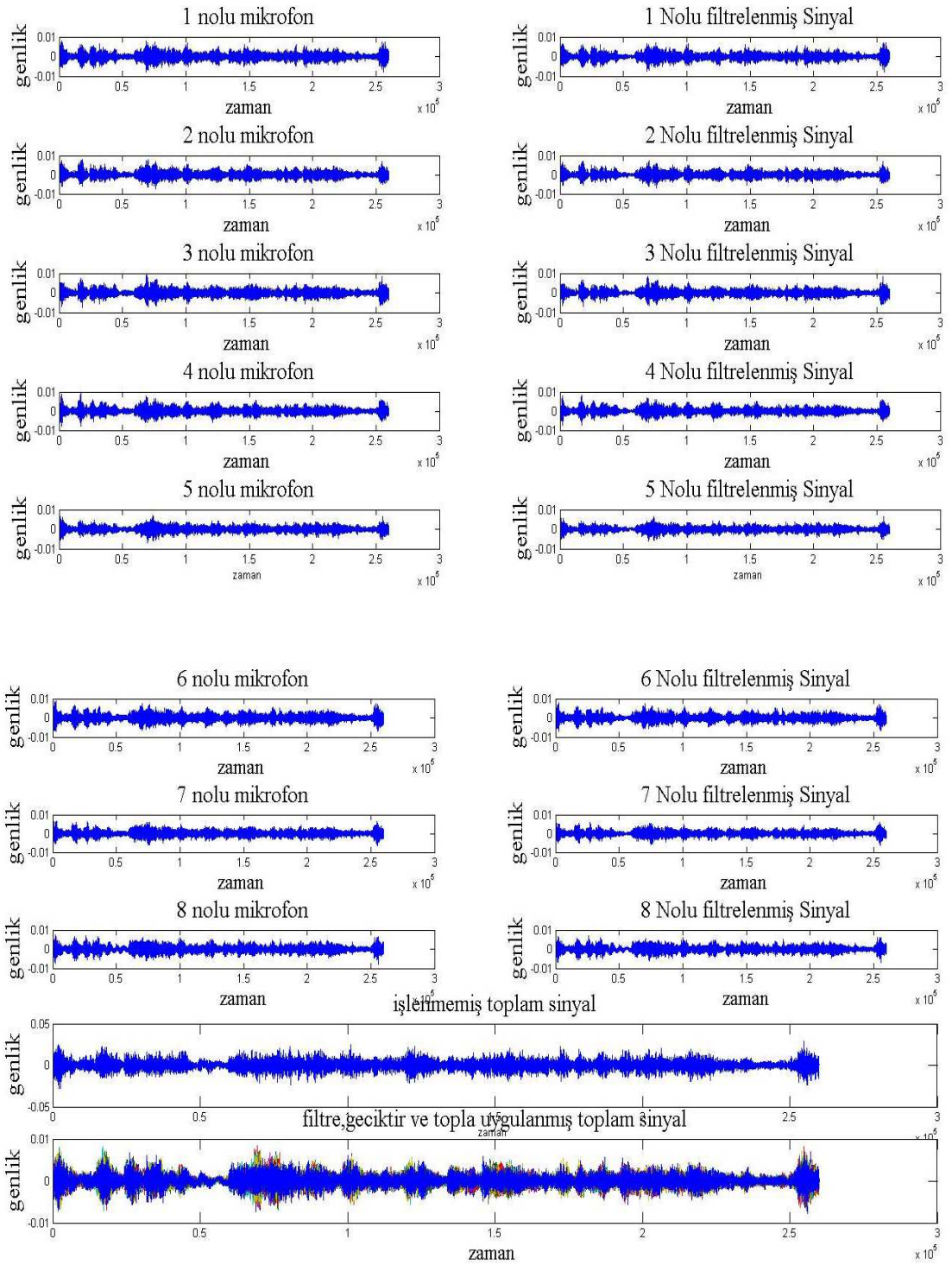
Uygulamada mikrofon dizisi, birinci konuşmacı ve ikinci konuşmacının konumları sabit tutulmuş, çalışmaya ikinci konuşmacıya 200 cm mesafede oturtulan bir bayan daha eklenerek konuşmacı adedi üçe çıkartılmıştır. Örneklem frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. 5,894 saniye uzunluğundan oluşan ses bilgisi. 259950 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Çizelge 47.'de. Üç Konuşmacının koordinatları belirtilmiştir. Her bir Konuşmacı için mikrofonlara ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları **Ek 1** de verildiği gibidir.



Şekil 4.8. Mikrofon Dizisi ve Üç konuşmacının analitik uzayda gösterimi

Çizelge 4.7. Üç Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bayan)	2,1	3,75	1,31
2(Bay)	2,1	1,25	1,31
3(Bayan)	4,1	1,25	1,31



Şekil 4.9. FMD sinyallerine filtre, geciktir ve topla uygulanmış sinyaller görüntüsü

Çizelge 4.8. Üç konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	0.4527	0.4172	0.0077	0.0070
2	0.3642	0.3326	0.0079	0.0072
3	0.2715	0.3581	0.0094	0.0084
4	0.3603	0.3301	0.0091	0.0082
5	0.2715	0.2455	0.0071	0.0066
6	0.4406	0.4055	0.0086	0.0078
7	0.3187	0.2915	0.0064	0.0059
8	0.4074	0.3748	0.0076	0.0068
Toplam Sinyal	7,3307	7,0688	0.0291	0.0285

Çizelge 4.9. Üç konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış SİNYAL Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Sinyal Maksimum Değer
1	0.4527	0.4172	0.0077	0.0070
2	0.3642	0.3326	0.0079	0.0072
3	0.2715	0.3581	0.0094	0.0084
4	0.3603	0.3301	0.0091	0.0082
5	0.2715	0.2455	0.0071	0.0066
6	0.4406	0.4055	0.0086	0.0078
7	0.3187	0.2915	0.0064	0.0059
8	0.4074	0.3748	0.0076	0.0068
Toplam Sinyal	7,3307	8,0235	0.0291	0.0343

Çizelge 4.10. Üç konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT Uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	0.4527	0.4172	0.0077	0.0070
2	0.3642	0.3326	0.0079	0.0072
3	0.2715	0.3581	0.0094	0.0084
4	0.3603	0.3301	0.0091	0.0082
5	0.2715	0.2455	0.0071	0.0066
6	0.4406	0.4055	0.0086	0.0078
7	0.3187	0.2915	0.0064	0.0059
8	0.4074	0.3748	0.0076	0.0068
Toplam Sinyal	7,3307	8,3664	0.0291	0.0382

Çizelge 4.11. Üç konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT Uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	0.4527	0.4172	0.0077	0.0070
2	0.3642	0.3326	0.0079	0.0072
3	0.2715	0.3581	0.0094	0.0084
4	0.3603	0.3301	0.0091	0.0082
5	0.2715	0.2455	0.0071	0.0066
6	0.4406	0.4055	0.0086	0.0078
7	0.3187	0.2915	0.0064	0.0059
8	0.4074	0.3748	0.0076	0.0068
Toplam Sinyal	7,3307	8,2144	0.0291	0.0357

Birinci, ikinci ve üçüncü konuşmacılar üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyalin,
- Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyalin,

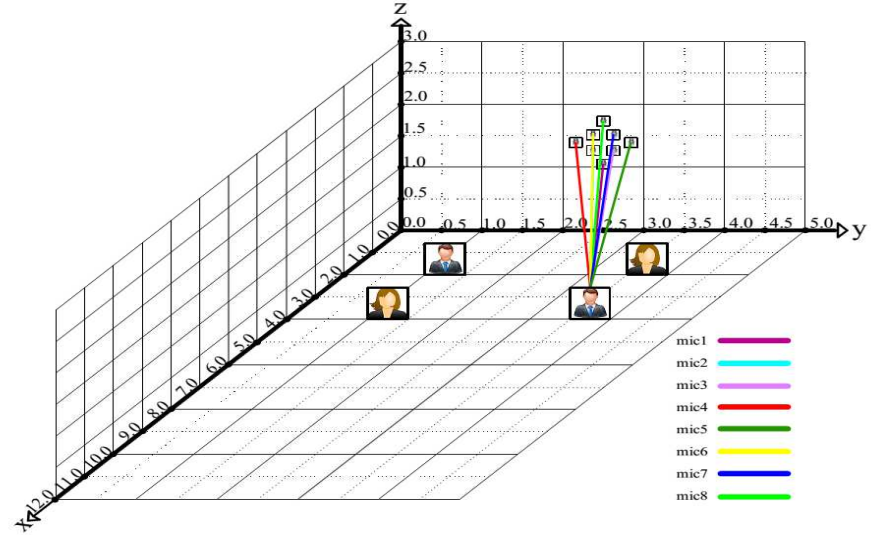
Görüntüleri Şekil 4.9.'da, Matlab sum fonksiyonu yardımı ile elemanların birim kareleri alınarak hesaplanan sinyal enerjileri ve elemanların içerisindeki en büyük değerler çizelge (4.8):(4.9): (4.10): (4.11) de verilmiştir.

Üç konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir;

- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerji ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.8.)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.9:10:11)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin toplamı ile oluşan sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden büyük çıkmıştır. (Çizelge 4.9:10:11)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.9:10:11)
- Geciktirme ve filtreleme uygulanarak oluşan Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 23 kat filtre uygulanmış sinyal değerlerinden 24 kat fazla çıkmıştır. fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.9:10:11)
- Konuşmacı adedinin üçe çıkartılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır. (Çizelge 4.9:10:11)
- Üç konuşmacıya ayrı ayrı yapılan demetlemede en yüksek sinyal enerjisi ve maksimum değeri sırasıyla ikinci üçüncü ve birinci konuşmacıda elde edilmiştir

4.3. Dört konuşmacı Arasından Ses Seçimi

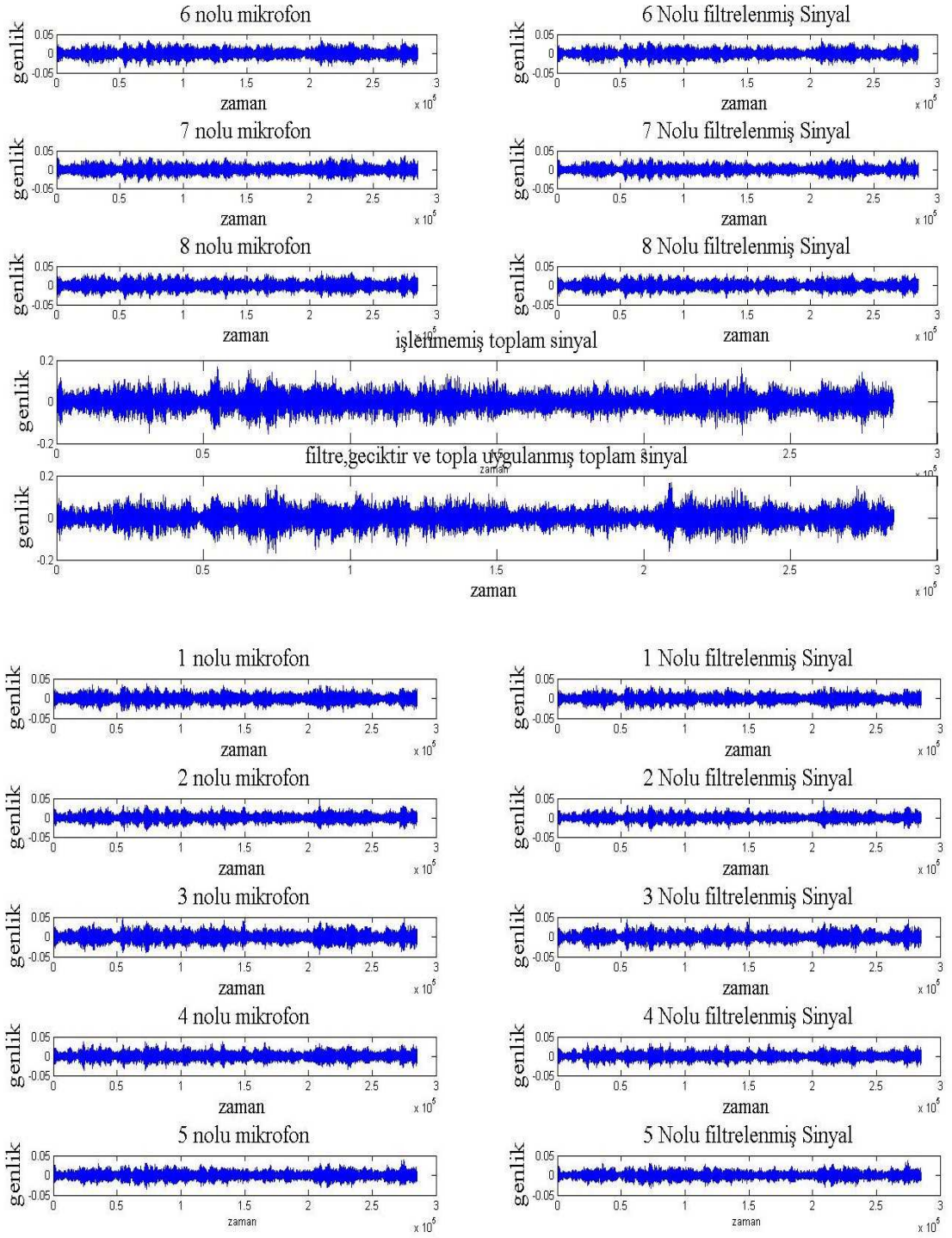
Uygulamada bir önceki çalışmaya göre mikrofon dizisi ve üç konuşmacının konumları sabit tutulmuştur. Çalışmaya üçüncü konuşmacıya 200 cm mesafede bir bay daha eklenerek konuşmacı adedi dörde çıkartılmıştır. Konuşmacıların ve mikrofon dizisinin analitik uzayda modellenmesi Şekil 4.10.'de verilmiştir. Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. 6,467 saniye uzunluğundan oluşan ses bilgisi. 285199 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Çizelge 4.12.'de. Dört Konuşmacının koordinatları belirtilmiştir. Her bir Konuşmacı için mikrofonlara ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları **Ek 2** de verildiği gibidir.



Şekil 4.10. Mikrofon Dizisi ve dört konuşmacının analitik uzayda gösterimi

Çizelge 4.12. Üç Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bayan)	2,1	3,75	1,31
2(Bay)	2,1	1,25	1,31
3(Bay)	4,1	3,75	1,31
4(Bayan)	4,1	1,25	1,31



Şekil 4.11. FMD dördüncü Konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü konuşmacılar üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyalin,
- Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyalin,

Görüntüleri Şekil 4.11. de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Dört konuşmacı için filtrelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	15,4273	14,1226	0.0364	0.0331
2	12,7213	11,6531	0.0487	0.0441
3	13,0315	18,9165	0.0492	0.0449
4	14,7416	13,5622	0.0369	0.0340
5	13,0315	11,9445	0.0396	0.0378
6	16,5001	15,2143	0.0418	0.0387
7	15,8342	14,5751	0.0382	0.0362
8	17,2801	15,8602	0.0376	0.0348
Toplam Sinyal	343,731	332,217	0.1670	0.1589

Çizelge 4.14. Dört konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	15,4273	14,1226	0.0364	0.0331
2	12,7213	11,6531	0.0487	0.0441
3	13,0315	18,9165	0.0492	0.0449
4	14,7416	13,5622	0.0369	0.0340
5	13,0315	11,9445	0.0396	0.0378
6	16,5001	15,2143	0.0418	0.0387
7	15,8342	14,5751	0.0382	0.0362
8	17,2801	15,8602	0.0376	0.0348
Toplam Sinyal	343,731	332,134	0.1670	0.1692

Çizelge 4.15. Dört konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	15,4273	14,1226	0.0364	0.0331
2	12,7213	11,6531	0.0487	0.0441
3	13,0315	18,9165	0.0492	0.0449
4	14,7416	13,5622	0.0369	0.0340
5	13,0315	11,9445	0.0396	0.0378
6	16,5001	15,2143	0.0418	0.0387
7	15,8342	14,5751	0.0382	0.0362
8	17,2801	15,8602	0.0376	0.0348
Toplam Sinyal	343,731	349,375	0.1670	0.1692

Çizelge 4.16. Dört konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	15,4273	14,1226	0.0364	0.0331
2	12,7213	11,6531	0.0487	0.0441
3	13,0315	18,9165	0.0492	0.0449
4	14,7416	13,5622	0.0369	0.0340
5	13,0315	11,9445	0.0396	0.0378
6	16,5001	15,2143	0.0418	0.0387
7	15,8342	14,5751	0.0382	0.0362
8	17,2801	15,8602	0.0376	0.0348
Toplam Sinyal	343,731	331,515	0.1670	0.1449

Çizelge 4.17. Dört konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

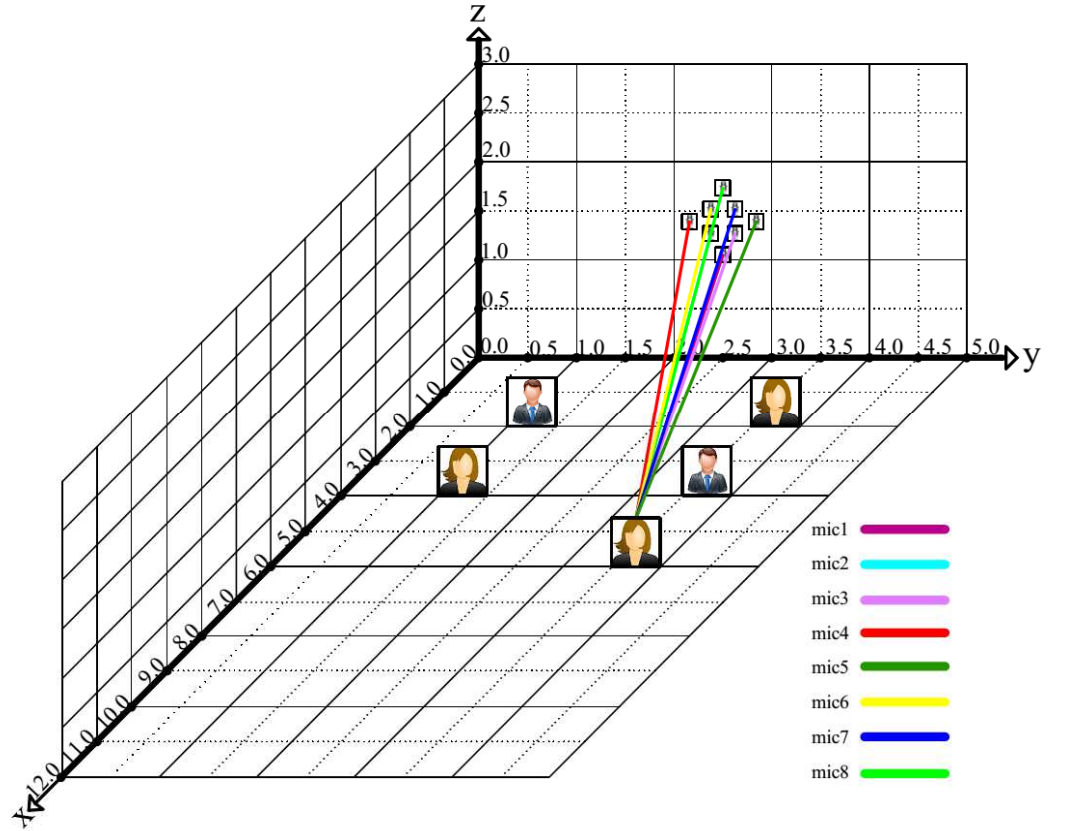
Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	15,4273	14,1226	0.0364	0.0331
2	12,7213	11,6531	0.0487	0.0441
3	13,0315	18,9165	0.0492	0.0449
4	14,7416	13,5622	0.0369	0.0340
5	13,0315	11,9445	0.0396	0.0378
6	16,5001	15,2143	0.0418	0.0387
7	15,8342	14,5751	0.0382	0.0362
8	17,2801	15,8602	0.0376	0.0348
Toplam Sinyal	343,731	347,808	0.1670	0.1645

Dört konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir

- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerji ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.13.)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.14:15:16:17)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden ikinci ve dördüncü konuşmacılar için % 1 oranında büyük çıkmıştır. (Çizelge 4.9:15:17)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden birinci ve üçüncü konuşmacılar için % 1 oranında küçük çıkmıştır. (Çizelge 4.9:14:16)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.13:14:15:16:17)
- Konuşmacı adedinin dörde çıkartılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır. (Çizelge 4.13:14:15:16:17)
- Dört konuşmacıya ayrı ayrı yapılan demetlemede en yüksek sinyal enerjisi ve maksimum değeri sırasıyla ikinci, dördüncü, birinci ve üçüncü konuşmacıda elde edilmiştir.

4.4. Beş Konuşmacı Arasından Ses Seçimi

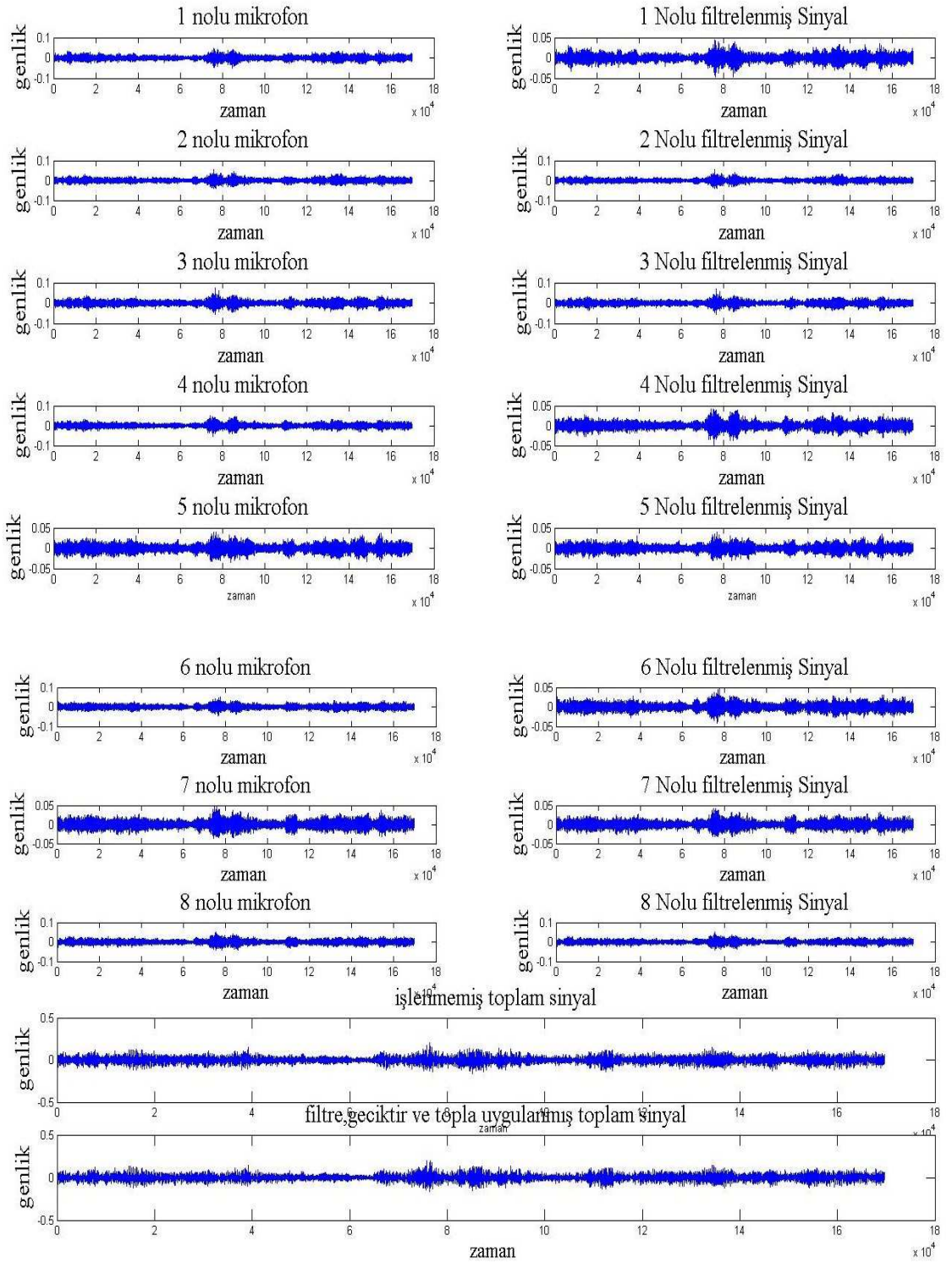
Dördüncü uygulamada konuşmacı sayısı iki bay, üç bayan olmak üzere beşe çıkartılmıştır. Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. Ses bilgisi 5,368 saniye uzunluğundan oluşan, 236752 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Konuşmacılara ait koordinatlar Çizelge 4.18.'de verildiği gibidir. Beş konuşmacı için her bir mikrofona ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları **Ek 3** de verildiği gibidir.



Şekil 4.12. Mikrofon Dizisi ve beş konuşmacının analitik uzayda gösterimi

Çizelge 4.18. Beş Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bayan)	2,1	3,75	1,31
2(Bay)	2,1	1,25	1,31
3(Bay)	4,1	3,75	1,31
4(Bayan)	4,1	1,25	1,31
5(Bayan)	6,1	3,75	1,31



Şekil 4.13. FMD' de beşinci Konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü

Birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci konuşmacılar üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyal,
- Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyal,

görüntüleri Şekil 4.13. de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Beş konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,2570	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam Sinyal	310,887	297,994	0.1746	0.1721

Çizelge 4.20. Beş konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,257	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam Sinyal	310,887	310,047	0.1746	0.1810

Çizelge 4.21. Beş konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,257	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam S.	310,887	321,014	0.1746	0.1905

Çizelge 4.22. Beş konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,257	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam S.	310,887	297,801	0.1746	0.1863

Çizelge 4.23. Beş konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,2570	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam S.	310,887	318,156	0.1746	0.1762

Çizelge 4.24. Beş konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

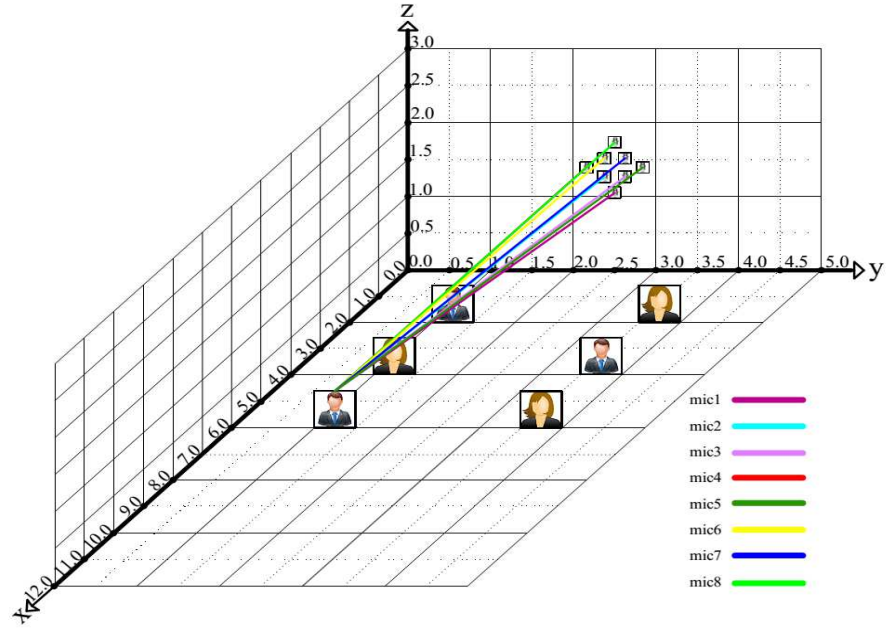
Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	17,6962	16,0645	0.0568	0.0533
2	13,4793	12,1972	0.0387	0.0377
3	13,5503	18,6398	0.0578	0.0533
4	14,9936	13,6609	0.0451	0.0417
5	13,5503	12,2325	0.0359	0.0329
6	16,5262	15,0592	0.0444	0.0394
7	15,5585	14,1499	0.0432	0.0403
8	17,2570	15,5969	0.0464	0.0437
Toplam S.	310,887	295,508	0.1746	0.1867

Beş konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir

- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerji ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.19)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.19:20:21:22:23:24)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden ikinci ve dördüncü konuşmacılar için % 3 oranında büyük çıkmıştır. (Çizelge 4.21:23)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden birinci, üçüncü ve beşinci konuşmacılar için % 1-3 oranında küçük çıkmıştır. (Çizelge 4.20:22:24)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır(Çizelge 4.19:20:21:22:23:24)
- Konuşmacı adedinin beşe çıkartılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır. (Çizelge 4.19:20:21:22:23:24)
- Beş konuşmacıya ayrı ayrı yapılan demetlemede en yüksek sinyal enerjisi ve maksimum değeri sırasıyla ikinci, dördüncü, birinci, üçüncü ve beşinci konuşmacıda elde edilmiştir.

4.5. Altı konuşmacı Arasından Ses Seçimi

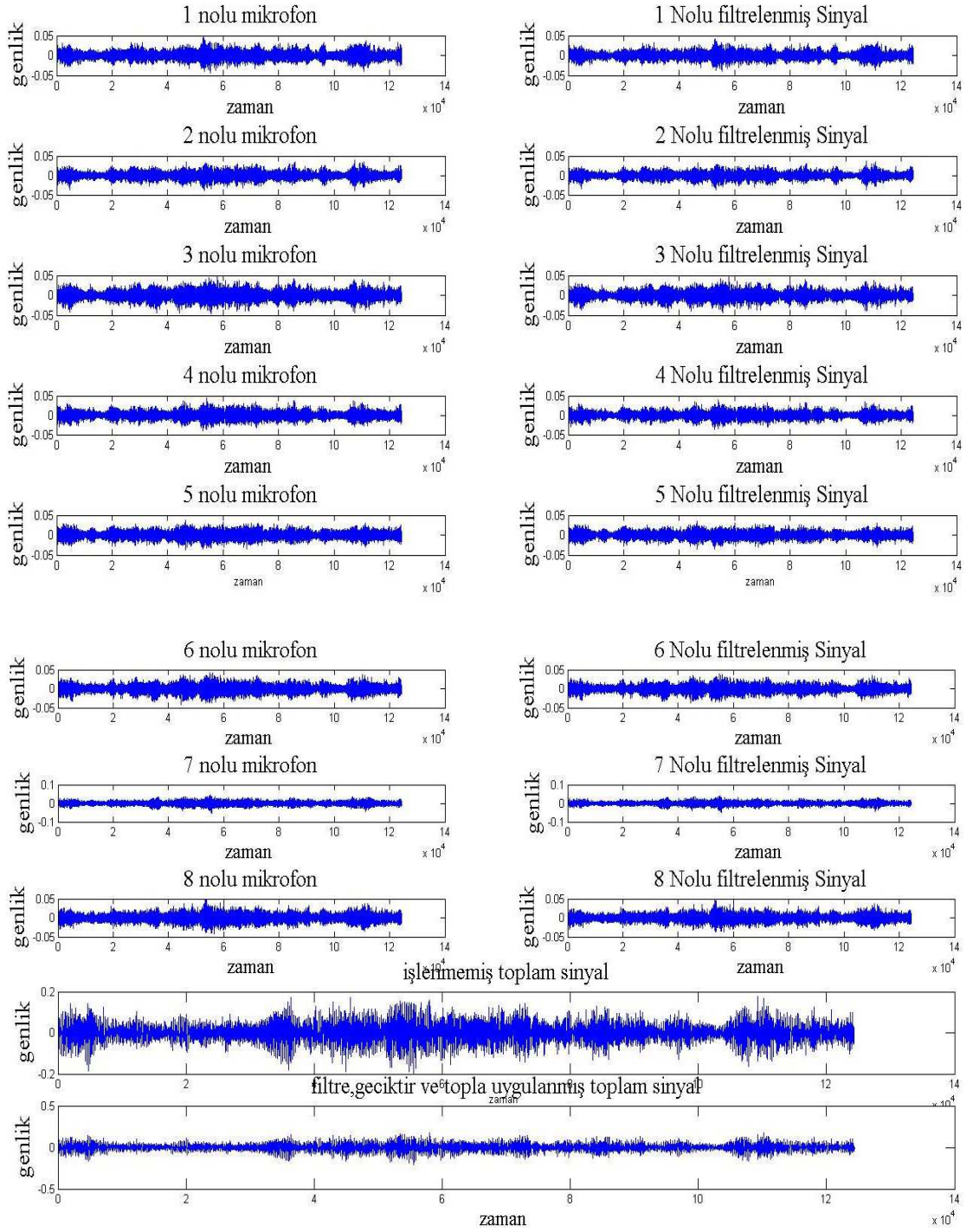
Beşinci uygulamada konuşmacı sayısı üç bay, üç bayan olmak üzere altıya çıkartılmıştır. Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. Ses bilgisi 2,282 saniye uzunluğundan oluşan, 124378 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Konuşmacılara ait koordinatlar Çizelge 4.25.'de verildiği gibidir. Beş konuşmacı için her bir mikrofona ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları **Ek 4** de verildiği gibidir.



Şekil 4.14. Mikrofon Dizisi ve altı konuşmacının analitik uzayda gösterimi

Çizelge 4.25. Altı Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bayan)	2,1	3,75	1,31
2(Bay)	2,1	1,25	1,31
3(Bay)	4,1	3,75	1,31
4(Bayan)	4,1	1,25	1,31
5(Bayan)	6,1	3,75	1,31
6(Bay)	6,1	1,25	1,31



Şekil 4.15. FMD’de altıncı konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü

Birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı konuşmacılar üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyalin,

Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyalin, görüntüleri Şekil 4.15. de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Altı konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	Filtre Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	Filtre Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	224,203	0.1762	0.1664

Çizelge 4.27. Altı konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,9278	208,1138	0.1762	0.1622

Çizelge 4.28. Altı konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	209,466	0.1762	0.1963

Çizelge 4.29. Altı konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	218,383	0.1762	0.1512

Çizelge 4.30. Altı konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	221,111	0.1762	0.1793

Çizelge 4.31. Altı konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,524	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,678	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,442	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	221,791	0.1762	0.1535

Çizelge 4.32. Altı konuşmacı içerisinde altıncıya göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT uygulanmış Maksimum Değer
1	9,3437	8,5731	0.0472	0.0424
2	7,4506	6,8375	0.0391	0.0362
3	8,5167	11,5240	0.0485	0.0455
4	8,3624	7,6780	0.0449	0.0390
5	8,5167	7,8576	0.0361	0.0339
6	10,1941	9,4420	0.0420	0.0392
7	10,1492	9,3808	0.0442	0.0418
8	10,0961	9,2878	0.0482	0.0456
Toplam S.	231,928	223,049	0.1762	0.1801

Altı konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir

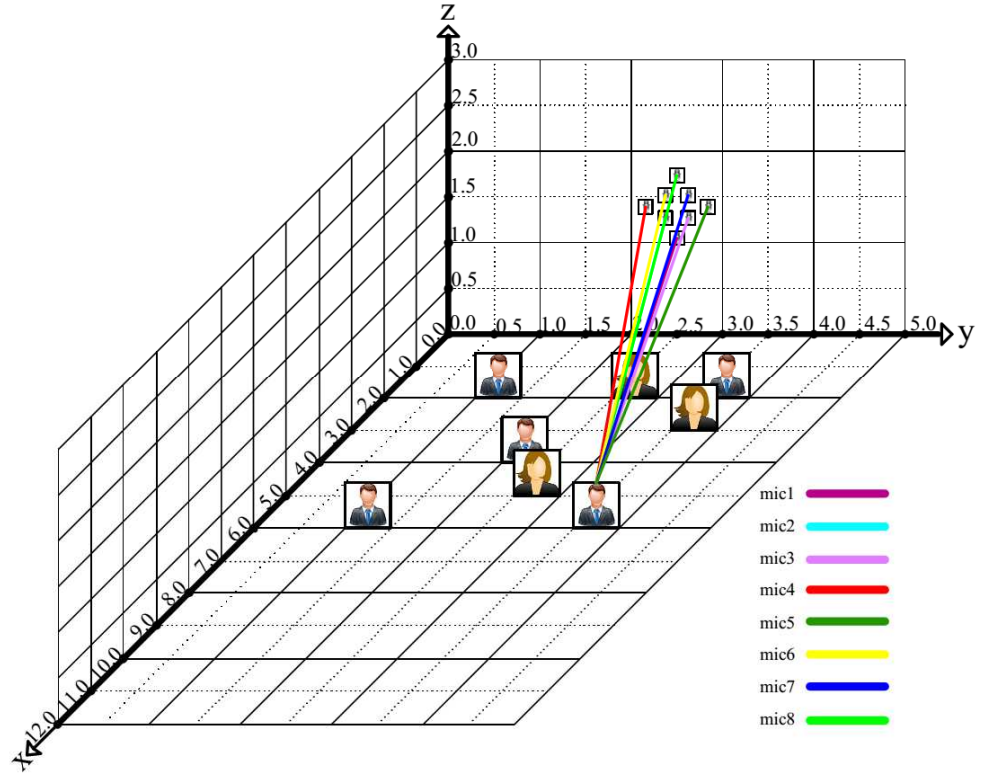
- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerji ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.26)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.26:27:28:29:30:31:32)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin sinyal enerjisi giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyal değerinden tüm konuşmacı demetlemeleri için düşük çıkmıştır. (Çizelge 4.26:27:28:29:30:31:32)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin maksimum değerleri giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyal değerinden ikinci, dördüncü ve altıncı konuşmacılar için büyük çıkmıştır. (Çizelge 4.:28:30:32)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin maksimum değerleri giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyalden değerinden birinci, üçüncü ve beşinci konuşmacılar için küçük çıkmıştır. (Çizelge 4.27:29:31)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır. (Çizelge 4.26:27:28:29:30:31:32)
- Konuşmacı adedinin altıya çıkartılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır. (Çizelge 4.19:20:21:22:23:24)
- Altı konuşmacıya ayrı ayrı yapılan demetlemede en yüksek sinyal enerjisi ve maksimum değeri sırasıyla altıncı, beşinci, dördüncü, üçüncü, ikinci ve birinci konuşmacıda elde edilmiştir.

4.6. Sekiz konuşmacı Arasından Ses Seçimi

Altıncı uygulamada konuşmacı sayısı Şekil 4.16.'da görüleceği üzere beş bay, üç bayan olmak üzere sekiz kişiye çıkartılmıştır. Diziye en yakın konuşmacı 2,104 m. En uzak konuşmacı 6,305 m. uzaklıktadır. Örneklem frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. 4,939 saniye uzunluğundan oluşan ses bilgisi. 217852 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Konuşmacılara ait koordinatlar Çizelge 4.33.'de verildiği gibidir. Sekiz konuşmacı için her bir mikrofona ayrı ayrı uygulanması gereken gecikme miktarları **Ek 5** de verildiği gibidir. Şekil 4.17. Mikrofon Dizisi ve sekiz konuşmacının analitik uzay modellemesi verilmiştir.



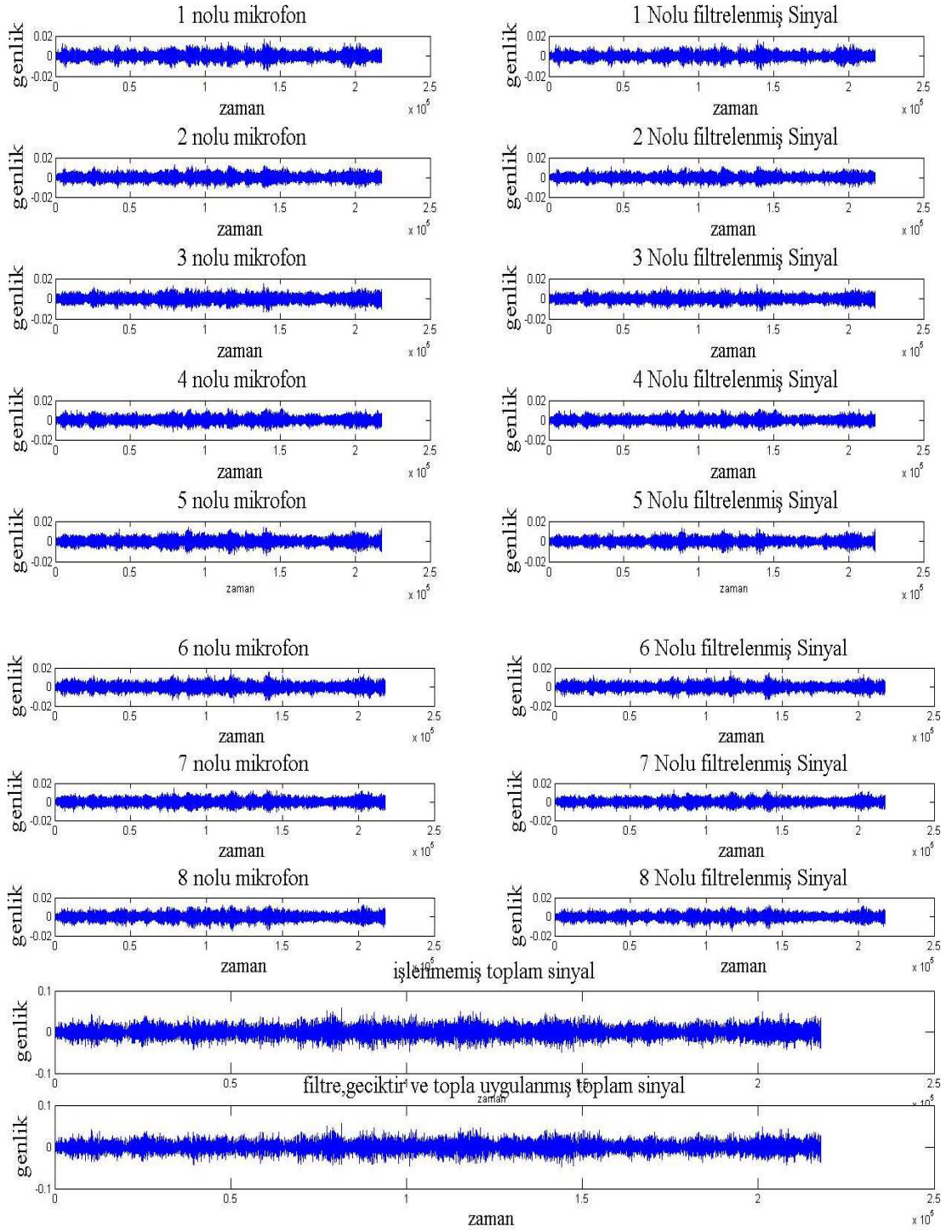
Şekil 4.16. Mikrofon Dizisi ve sekiz konuşmacı



Şekil 4.17. Mikrofon Dizisi ve sekiz konuşmacı analitik uzay modellemesi

Çizelge 4.33. Altı Konuşmacının koordinatları

Konuşmacı No	X	Y	Z
1(Bay)	2,1	3,75	1,31
2(Bayan)	2,1	2,75	1,31
3(Bay)	2,1	1,25	1,31
4(Bayan)	3,1	3,75	1,31
5(Bay)	4,1	2,25	1,31
6(Bayan)	5,1	2,75	1,31
7(Bay)	6,1	3,75	1,31
8(Bay)	6,1	1,25	1,31



Şekil 4.18. FMD’ de sekiz konuşmacı üzerine demetleme işlemi için FGT uygulanmış sinyallerin görüntüsü

Birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve sekizinci konuşmacılar üzerine demetleme işlemi için;

- Mikrofon dizisinde her bir mikrofona ait giriş sinyallerinin
- Ön süzgeçleme işlemi tekniği uygulaması ile oluşturulan sinyallerin,
- Giriş sinyallerinin doğrudan toplanması ile oluşturulan sinyal,
- Filtrele, geciktir ve topla tekniği uygulanmış sinyallerin toplamaları ile oluşturulan sinyal,

görüntüleri Şekil 4.18. de verilmiştir.

Çizelge 4.34 Sekiz konuşmacı için filtelenmiş FMD sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	Filtre Uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	Filtre uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	32,4538	0.0579	0.0558

Çizelge 4.35. Sekiz konuşmacı içerisinde birinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	30,6276	0.0579	0.0465

Çizelge 4.36. Sekiz konuşmacı içerisinde ikinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	33,0474	0.0579	0.0554

Çizelge 4.37. Sekiz konuşmacı içerisinde üçüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	30,7536	0.0579	0.0587

Çizelge 4.38. Sekiz konuşmacı içerisinde dördüncüye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	31,6701	0.0579	0.0511

Çizelge 4.39. Sekiz konuşmacı içerisinde beşinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	32,7784	0.0579	0.0567

Çizelge 4.40. Sekiz konuşmacı içerisinde altıncıya göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	32,8702	0.0579	0.0564

Çizelge 4.41. Sekiz konuşmacı içerisinde yedinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	32,4336	0.0579	0.0528

Çizelge 4.42. Sekiz konuşmacı içerisinde sekizinciye göre FGT uygulanmış sinyal enerjileri ve en büyük değerleri

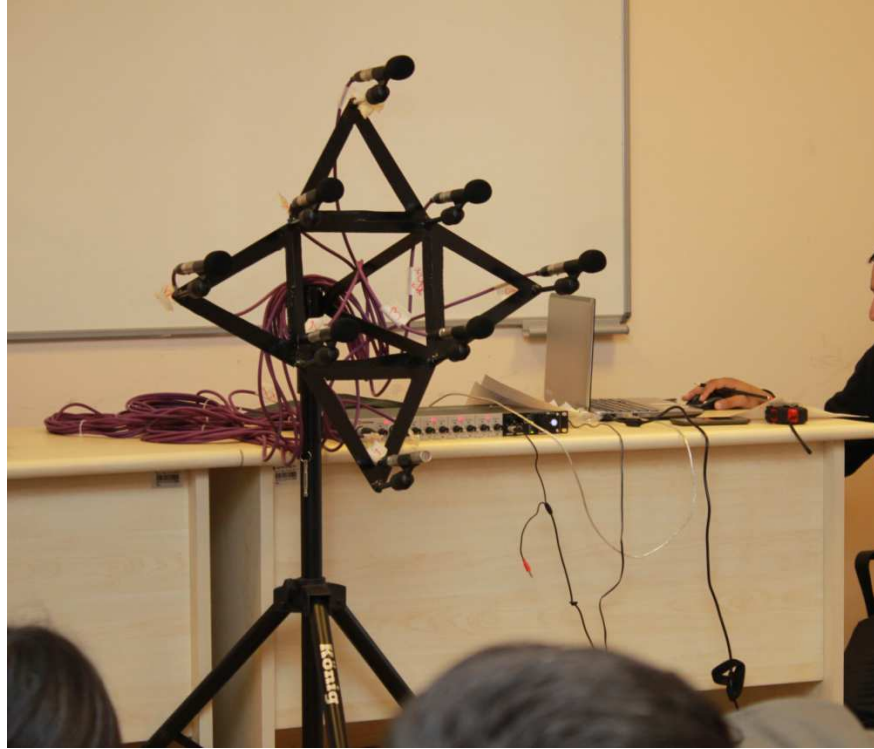
Mikrofon No	Giriş Sinyal Enerjisi	FGT uygulanmış Sinyal Enerjisi	Giriş Sinyali Maksimum Değeri	FGT Uygulanmış Maksimum Değer
1	1,8305	1,6637	0.0170	0.0160
2	1,4718	1,3302	0.0132	0.0123
3	1,6155	1,479	0.0149	0.0142
4	1,5077	1,3741	0.0119	0.0110
5	1,6155	1,4608	0.0137	0.0131
6	1,8732	1,707	0.0188	0.0170
7	1,6141	1,4685	0.0145	0.0128
8	1,7266	1,5616	0.0123	0.0117
Toplam S.	33,8491	32,5538	0.0579	0.0560

Sekiz konuşmacı için yapılan değerlemede elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir

- Filtreleme sonucu oluşan sinyaller ile bu sinyallerin toplamından oluşan sinyalin sinyal enerji ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.34:35:36:38:39:40:41:42)
- Geciktir ve topla sonrası oluşan sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerleri giriş sinyallerine ait değerlerden düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.34:35:36:38:39:40:41:42)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin sinyal enerjisi giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyal değerinden tüm konuşmacı demetlemeleri için düşük çıkmıştır.(Çizelge 4.34:35:36:38:39:40:41:42)
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin maksimum değerleri giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyal değerinden üçüncü konuşmacı haricindeki tüm konuşmacılar için küçük çıkmıştır. (Çizelge 4.37.)
- Toplam sinyalin sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 20 kat fazla çıkmıştır.(Çizelge 4.34:35:36:38:39:40:41:42)
- Konuşmacı adedinin sekize çıkartılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır. (Çizelge 4.34:35:36:38:39:40:41:42)
- Sekiz konuşmacıya ayrı ayrı yapılan demetlemede en yüksek sinyal enerjisi ve maksimum değeri ikinci, altıncı, beşinci, sekizinci, yedinci, dördüncü, üçüncü ve birinci konuşmacıda elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, mikrofon dizileri kullanılarak gürültülü ortamlarda aynı anda konuşan, sabit konuşmacılardan 3 boyutlu uzayda istenilen konumdaki konuşmacının ses sinyalinin güçlendirilmesi diğer sinyallerin zayıflatılması hedeflenmiştir. Konuşmacı sayısının ve mikrofon dizisinde yer alan mikrofonların yerlerinin bilindiği kabul edilmiştir. 8 mikrofondan oluşan Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi dizayn edilen bir dizi yardımı ile aynı anda iki, üç, dört, beş, altı ve sekiz kişinin konuştuğu 6 farklı çalışmada elde edilen sinyaller üzerinde filtrele, geciktir ve topla yöntemleri denenmiştir.



Şekil 5.1. Geliştirilen 8 elemanlı mikrofon dizisi

- Sinyallere öncelikle 250 Hz-3000 Hz arasındaki konuşma frekansı bölgesi için filtreleme uygulanmıştır. Bu yöntem tüm deneylerde sinyallerdeki istenmeyen gürültünün tamamını temizleyememekle birlikte sinyal enerji miktarında %3 oranında değer kaybına neden olmuştur. Bu sonuç Avşar (2010) ile örtüşmektedir

Ortamdan ses seçimi yapabilmemiz için mikrofon dizisindeki her bir elemanın istenilen noktaya odaklanması gerekmektedir. Odaklama işlemi için öncelikle analitik uzayda konumları bilinen ses seçimi yapılacak nokta ile dizideki mikrofonlar arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Aynı kaynaktan çıkan ses sinyalinin birbirlerine belirli mesafelerle yerleştirilmiş alıcılara farklı zamanda ulaşması prensibinden yola çıkılarak bulunan mesafeler sesin havada yayılma hızı 343 m/s'ye bölünerek sinyalin her bir mikrofona ulaşma süresi hesaplanmıştır. En yüksek süreye sahip eleman referans seçilmiştir. Diğer elemanlara ait değerler referans değerden çıkartılarak tüm mikrofon sinyallerine uygulanması gereken gecikme miktarları hesaplanmıştır. Şekil 5.2. de mikrofon sinyallerine sırasıyla 7-10-5-13-0-9-4-6 örnekleme adedi kadar gecikme uygulamasının sayısal yansıması verilmiştir. Sinyaller 44100 Hertz Örnekleme frekansında oluşturuldukları için gecikme sürelerine karşılık gelen örnekleme miktarları her 1 ms için 44.1 örnek olarak hesaplanmıştır. Filtreleme uygulanmış her bir sinyale bulunan değerler geciktir ve topla hüzne şekillendirme tekniği ile ayrı ayrı uygulanarak yeni bir sinyal inşa edilmiştir. Oluşturulan sinyalin eleman sayısı toplandığı sinyallerin eleman sayısından en büyük gecikme miktarınca artış sağlamıştır. Ayrıca çalışmada sinyallerin, sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinden faydalanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	-1.6806e...	0	0	0	
2	0	0	0	0	-4.7846e...	0	0	0	
3	0	0	0	0	-1.1564e...	0	0	0	
4	0	0	0	0	-2.3464e...	0	0	0	
5	0	0	0	0	-4.0644e...	0	-2.9261e...	0	
6	0	0	-4.5965e...	0	-6.1793e...	0	-8.0481e...	0	
7	0	0	-9.9022e...	0	-8.4462e...	0	-1.9223e...	1.1546e...	
8	1.3859e...	0	-1.9985e...	0	-0.0011	0	-3.8631e...	3.1536e...	
9	3.8108e...	0	-3.4019e...	0	-0.0012	0	-6.6092e...	7.4054e...	
10	9.0156e...	0	-4.7353e...	0	-0.0013	-4.0940e...	-9.9201e...	1.4555e...	
11	1.7866e...	1.8009e...	-5.4776e...	0	-0.0013	-1.1295e...	-0.0013	2.4134e...	
12	2.9924e...	1.7524e...	-5.4405e...	0	-0.0013	-2.6630e...	-0.0017	3.4606e...	
13	4.2472e...	6.2272e...	5.0011e...	0	0.0013	5.2008e...	0.0016	4.2702e...	

Şekil 5.2. Mikrofon sinyallerine sırasıyla 7-10-5-13-0-9-4-6 örnekleme adedi kadar gecikme uygulamasının sayısal yansıması verilmiştir.

Yapılan değerlemeler neticesinde;

- Mikrofon dizisinin odak doğrultusunda oturan konuşmacılar ve diziye 5 metreden daha uzakta oturan konuşmacılar için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları 0.3 ms den düşük çıkmıştır.
- İki, üç ve dört konuşmacı için mikrofon dizisi, filtrele, geciktir ve topla tekniği ile elde edilen Toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri her bir mikrofona ait değerlerden 23 kat fazla çıkmıştır.
- İki, üç ve dört konuşmacı için mikrofon dizisi, filtrele, geciktir ve topla tekniği ile elde edilen Toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri Filtre uygulanmış sinyal değerlerinden 24 kat fazla çıkmıştır.
- İki, üç ve dört konuşmacı için mikrofon dizisi, filtrele, geciktir ve topla tekniği ile elde edilen Toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, sinyallerin işlem yapılmaksızın doğrudan toplanmasıyla oluşan toplam sinyal değerinden ise 1,15 kat fazla çıkmıştır.
- Konuşmacı adedi dördün üzerinde olan deneylerde; filtrele, geciktir ve topla tekniği ile elde edilen toplam sinyalin, sinyal enerjisi ve maksimum değeri, her bir mikrofona ait değerlerden 23 kat fazla olmasına rağmen sinyallerin işlem yapılmaksızın doğrudan toplanmasıyla oluşan toplam sinyal değerinden % 3 oranında düşük çıkmıştır.
- Konuşmacı adedinin artırılması tüm sinyallerin sinyal enerjileri ve maksimum değerlerinde artış sağlamıştır.
- Süzgeçleme ve geciktirme işlemi ile oluşan toplam sinyalin sinyal enerjisi giriş sinyallerinin doğrudan toplanması neticesinde oluşan sinyal değerinden tüm konuşmacı demetlemeleri için düşük çıkmıştır.

Çalışmanın sonucu 4 konuşmacıya kadar yapılan uygulamalarda ses seçimi % 10 kazançla yapılabilirken, beş ve daha fazla konuşmacı için başarı sağlanamamıştır. Bu durum Sezen, (2010)'un Aynı anda 5 kişinin %75 üst üste gelecek şekilde konuştuğu, veri toplama işleminin 24 mikrofondan oluşan bir dizi sayesinde yapıldığı, çalışma sonucu 4 konuşmacının yeri bulunurken bir konuşmacının yeri tespit edilemeyen çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Bunun sebebi konuşmacı adedinin artması ile orantılı olarak toplam sinyal enerjisinin artması ve demetleme yapılan noktanın enerjisinin toplam enerjiden düşük kalması ve/veya mikrofon dizisinde 90° ve 270° derecelik açıyla gelen sesleri 6 dB alçaltarak alan yüresel mikrofon tipinin kullanılması olduğu düşünülmektedir. Diziye

yakın mesafede olan bireyler için diğer bireylere nazaran % 3 kazanım sağlanmıştır. Yan yana oturan konuşmacılarda gecikme miktarları birbirine çok yakın, odak doğrultusunda oturan konuşmacılarda gecikme miktarları düşük değerler olduğu bu bireyler için hissedilir bir kazanç sağlanamamıştır.

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre ilerleyen çalışmalarda yapılabilecekler aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Mikrofon tipi olarak yüreksel mikrofonun çok fazla sivriltilmiş, tek yönü duyarlaştırılmış tipi tele-tabanca yüreksel (ultra directional-shot-gun mic) mikrofon kullanılması çevresel gürültüleri ortadan kaldıracadı gibi uzak mesafelerde bulunan konuşmacılar için daha iyi odaklama imkânı sağlayabilir.
- Mikrofon diziliminde mikrofon Aralıklarının 34 cm(gecikme 1 ms) den yukarı olması daha yüksek gecikme miktarları doğuracağından yakın oturan konuşmacılar için başarım sağlayabilir.
- rnek olarak 16 mikrofonlu tek bir mikrofon dizisi yerine bireylere yakın mesafede ve farklı açılarda yerleştirilmiş 4 mikrofondan oluşan 4 mikrofonlu dizi verimi arttırabilir.
- Donanımsal olarak örnekleme frekansının düşük kalmaması için her bir kanal için minimum 20.000 Hz rnekleme yapabilecek, sinyal gecikme oranları düşük veri toplama sistemleri(Data Acquisition), kartları tercih edilebilir.
- Filtreleme işlemi yerine ses kaydı sırasında ses kartının sinyal seviyesinin en üst noktası (sig/peak) kısılması iř yoğunluğunun azaltılmasında etkili olabilir.



şekil 5.3. 8 elemanlı mikrofon dizisi ile konferans salonunda ses kaydı

KAYNAKLAR

- Avşar, İ. İ., 2010, Fazlı Mikrofon Dizileri Kullanarak Elde Edilen Ses Sinyallerinin İşlenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı** Yüksek Lisans Tezi, S. 73, Antakya/Hatay
- Aziz A., 2007, 3. Basım Radyo Yayıncılığı, İstanbul, S. 332
- Basu S., Schwartz S., And Pentland A., 2000. Wearable Phased Arrays For Sound Localization And Enhancement. **MIT Media Laboratory**, IEEE
- Benesty J., Chen J., And Huang Y., 2008 Microphone Array Signal Processing, Springer, Johnson D. H., And Dudgeon D. E., 1993 **Array Signal Processing: Concepts And Techniques**, Prentice Hall
- Beranek L., 1960, Noise Reduction Precared For A Special Summer Program At The Massachusetts Institute Of Technology. New York: Mcgraw-Hill
- Brandstein W., And Ward D., 2001, Springer, Microphone Arrays: **Signal Processing Techniques And Applications**
- Çontar E., 2007., Mikrofon Dizilerinde Ses Kaynağının Yerinin Genetik Algoritma Kullanılarak Bulunması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı** Yüksek Lisans Tezi, 92 S. Ankara.
- Cubase Ses Müzik Kayıt Yazılımı, İndirildiği Tarih : 15/09/2014
http://www.steinberg.net/en/products/cubase/why_cubase.html
- David M. H., James A. S. And Angus, J. A., 2001, Acoustics And Psychoacoustics Pages.385
- Dibiase J. H., 2000, High-Accuracy, Low-Latency Technique For Talker Localization In Reverberant Environments Using Microphone Arrays, Brown Universty
- Gregory E. And Cole J., 2004. Audio Localization. Connexions Project
- Hacıvelioğlu, İ., and Dinçer, H., 2005 , “Akıllı Anten Sistemlerinde İşaret Gelişçisi Kestirim Yöntemleri”, **II. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu**, Adana
- Kazuhiro N. And Hiroshi O., Hiroaki K., Auditory Fovea Based Speech Enhancement And Its Application To Human-Robot Dialog System. **Kyoto University, Graduate School Of Informatics**
- Kushleyev A., 2004 Sound Localization. **University Of Maryland, Institute For Systems Research**, Summer
- Matlab Programlama Dili, İndirildiği Tarih: 15.08.2014,
<http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- Mcgowan I., 2001 Microphone Arrays: A Tutorial
- Mehmetcik, E. And Ciloglu, T., 2012, Speech Enhancement By Maintaining Phase Continuity , **Signal Processing And Communications Applications Conference**, DOI: 10.1109/SIU.2012.6204470, P.1 – 4
- Nİ 6221 Usb Veri Toplama kartı, İndirildiği Tarih 15/09/2014
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/203481>
- Önen U, 2014, Ses Kayıt Ve Müzik Teknolojileri, Ankara, Sayfa Sayısı: 480

- Roberts M. J., 2011, Signals And Systems: Analysis Using Transform Methods And MATLAB® , P. 796
- Salor. Ö., Dimitris G. M. And John G. Proakis, 2010, Digital Signal Processing Principles, Algorithms And Applications (Sayısal Sinyal İşleme İlkeler, Algoritmalar Ve Uygulamalar 4. Baskıdan Çeviri), P1084
- Serway A., Beichner R., And Robert J. A., 1999, Physics For Scientists And Engineers: 5th (Fifth) Edition, Chapters 1-39
- Sezen E. S. 2010, Mikrofon Dizileri İle Telekonferans Sistemlerinin İyileştirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı** Yüksek Lisans Tezi, S. 88, Ankara
- Singh, H. And Mohan J. R. 2012. **International Journal Of Antennas And Propagation**, Article ID 361768, 20 Pages
- Steinberg Ur 824 Ses kartı, İndirildiği Tarih: 15.09.2014,
https://www.steinberg.net/en/products/audio_interfaces/ur_serie/modell_e/ur824.html
- Stoica, P. And Moses, R. 2005 Spectral Analysis Of Signals, NJ: Prentice Hall,
- Şafak A., Özdem M. S., Karaali S., 2007. WIMAX (IEEE 802.16e) Sistemlerinde Uyarlanırlı Antenler . **3. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu**. Adana.
- Şekil 3.15. Çok fonksiyonlu Faz Dizi Radar(MPAR), İndirildiği Tarih: 11.07.2014,
<http://www.noaa.gov/features/protecting/radar.html>
- Şekil 3.16. Hava Radarı(SPS – 49, İndirildiği Tarih: 11.07.2014,
http://en.wikipedia.org/wiki/AN/SPS-49#mediaviewer/File:SPS-49_Air_Search_Radar_antenna.jpg
- Şekil 3.17. Sonar ile kaynak tespiti, İndirildiği Tarih: 12.07.2014,
<http://historysci101.wordpress.com/2010/12/07/history-of-sonar-by-morgan-perry/>
- Şekil 3.18. Ses dalgalarından faydalanılarak elde edilen ultrason görüntüsü, İndirildiği Tarih: 12.07.2014, <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>
- Şekil 3.19. Metropol alanlarda kullanılması öngörülen kablosuz haberleşme Teknolojisi (WiMAX, IEEE 802,16) İndirildiği Tarih: 12.07.2014,
http://www.gearfuse.com/wpcontent/uploads/2008/05/wimax_wixd_101.gif
- Vardar B., 2009, Sinemada Ses Ve Müzik, S. 81
- Viberg, M. And Krim, H. 1996 Sensor Array Signal Processing: Two Decades Later, **Signal Processing Magazine**, IEEE ISSN: 1053-5888 INSPEC Accession Number:5345793 DOI:10.1109/79.526899 Page(S):67 - 94
- Visser, H., 2005 Array And Phased Array Antenna Basics. New Jersey: Wiley,
- Weinstein, E., Steele, K., Agarwal, A., Glass, J., “LOUD: A 1020-Node Modular Microphone Array And Beamformer For Intelligent Computing Spaces”, MIT/LCS Technical Memo MIT-LCS-TM-642, Cambridge, 2-15 (2004).
- Yavuzoğlu N., 2010, Kulak Eğitimi 1 (Rölatif Absolut) Sayfa Sayısı: 205
- Zeren M. A., 2003, Müzik Fiziği, Pan Yayıncılık, S. ,258,

EKLER

EK 1. 3 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

1. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,444	0,133	0,391	27,945
	2	2,52	0,209	0,615	18,078
	3	2,392	0,081	0,239	34,647
	4	2,659	0,348	1,025	0
	5	2,311	0	0	45,196
	6	2,551	0,24	0,706	14,05
	7	2,425	0,114	0,335	30,406
	8	2,531	0,22	0,648	16,599
2. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,38	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0	0	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,52	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,2	0,589	19,272
3. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,092	0,27	14,005
	2	4,25	0,051	0,149	19,353
	3	4,323	0,123	0,362	9,935
	4	4,2	0	0	25,915
	5	4,399	0,2	0,588	0
	6	4,258	0,058	0,17	18,4
	7	4,33	0,13	0,384	8,998
	8	4,312	0,112	0,331	11,34

EK 2. 4 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

1. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,444	0,133	0,391	27,945
	2	2,52	0,209	0,615	18,078
	3	2,392	0,081	0,239	34,647
	4	2,659	0,348	1,025	0
	5	2,311	0	0	45,196
	6	2,551	0,24	0,706	14,05
	7	2,425	0,114	0,335	30,406
	8	2,531	0,22	0,648	16,599
2. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,38	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0	0	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,52	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,2	0,589	19,272
3. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,09	0,264	14,475
	2	4,326	0,124	0,365	9,993
	3	4,253	0,051	0,15	19,48
	4	4,403	0,201	0,592	0
	5	4,202	0	0	26,106
	6	4,333	0,131	0,387	9,057
	7	4,26	0,058	0,172	18,528
	8	4,312	0,11	0,324	11,81

EK 2. (Devamı) 4 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

4. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,092	0,27	14,005
	2	4,25	0,051	0,149	19,353
	3	4,323	0,123	0,362	9,935
	4	4,2	0	0	25,915
	5	4,399	0,2	0,588	0
	6	4,258	0,058	0,17	18,4
	7	4,33	0,13	0,384	8,998
	8	4,312	0,112	0,331	11,34

EK 3. 5 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

1. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,444	0,133	0,391	27,945
	2	2,52	0,209	0,615	18,078
	3	2,392	0,081	0,239	34,647
	4	2,659	0,348	1,025	0
	5	2,311	0	0	45,196
	6	2,551	0,24	0,706	14,05
	7	2,425	0,114	0,335	30,406
	8	2,531	0,22	0,648	16,599
2. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,38	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0	0	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,52	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,2	0,589	19,272
3. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,09	0,264	14,475
	2	4,326	0,124	0,365	9,993
	3	4,253	0,051	0,15	19,48
	4	4,403	0,201	0,592	0
	5	4,202	0	0	26,106
	6	4,333	0,131	0,387	9,057
	7	4,26	0,058	0,172	18,528
	8	4,312	0,11	0,324	11,81

EK 3. (Devamı) 5 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

4. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,092	0,27	14,005
	2	4,25	0,051	0,149	19,353
	3	4,323	0,123	0,362	9,935
	4	4,2	0	0	25,915
	5	4,399	0,2	0,588	0
	6	4,258	0,058	0,17	18,4
	7	4,33	0,13	0,384	8,998
	8	4,312	0,112	0,331	11,34
5. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	6,23	0,061	0,181	10,038
	2	6,254	0,085	0,251	6,944
	3	6,204	0,035	0,103	13,477
	4	6,308	0,139	0,408	0
	5	6,169	0	0	18,005
	6	6,259	0,09	0,266	6,296
	7	6,209	0,04	0,117	12,824
	8	6,244	0,076	0,222	8,2

EK 4. 6 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

1. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,444	0,133	0,391	27,945
	2	2,52	0,209	0,615	18,078
	3	2,392	0,081	0,239	34,647
	4	2,659	0,348	1,025	0
	5	2,311	0	0	45,196
	6	2,551	0,24	0,706	14,05
	7	2,425	0,114	0,335	30,406
	8	2,531	0,22	0,648	16,599
2. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,38	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0	0	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,52	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,2	0,589	19,272
3. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,09	0,264	14,475
	2	4,326	0,124	0,365	9,993
	3	4,253	0,051	0,15	19,48
	4	4,403	0,201	0,592	0
	5	4,202	0	0	26,106
	6	4,333	0,131	0,387	9,057
	7	4,26	0,058	0,172	18,528
	8	4,312	0,11	0,324	11,81

EK 4. (Devamı) 6 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

4. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,291	0,092	0,27	14,005
	2	4,25	0,051	0,149	19,353
	3	4,323	0,123	0,362	9,935
	4	4,2	0	0	25,915
	5	4,399	0,2	0,588	0
	6	4,258	0,058	0,17	18,4
	7	4,33	0,13	0,384	8,998
	8	4,312	0,112	0,331	11,34
5. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	6,23	0,061	0,181	10,038
	2	6,254	0,085	0,251	6,944
	3	6,204	0,035	0,103	13,477
	4	6,308	0,139	0,408	0
	5	6,169	0	0	18,005
	6	6,259	0,09	0,266	6,296
	7	6,209	0,04	0,117	12,824
	8	6,244	0,076	0,222	8,2
6. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	6,23	0,063	0,185	9,71
	2	6,202	0,035	0,102	13,384
	3	6,252	0,085	0,249	6,901
	4	6,167	0	0	17,867
	5	6,305	0,138	0,405	0
	6	6,207	0,04	0,116	12,731
	7	6,257	0,09	0,263	6,253
	8	6,244	0,077	0,227	7,871

EK 5. 8 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

1. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,16	0,472	24,696
	2	2,513	0,22	0,648	16,917
	3	2,385	0,092	0,272	33,536
	4	2,643	0,351	1,032	0
	5	2,292	0	0	45,513
	6	2,525	0,233	0,685	15,308
	7	2,398	0,105	0,31	31,841
	8	2,489	0,196	0,577	20,055
2. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,125	0,021	0,062	8,129
	2	2,134	0,03	0,088	6,977
	3	2,104	0	0	10,88
	4	2,188	0,084	0,247	0
	5	2,106	0,002	0,006	10,63
	6	2,149	0,045	0,131	5,085
	7	2,119	0,015	0,044	8,96
	8	2,166	0,062	0,184	2,785
3. Konuşmacı İçin	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	2,453	0,164	0,484	23,912
	2	2,38	0,092	0,269	33,365
	3	2,507	0,219	0,644	16,844
	4	2,288	0	0	45,242
	5	2,637	0,349	1,026	0
	6	2,393	0,105	0,308	31,666
	7	2,52	0,231	0,681	15,232
	8	2,489	0,2	0,589	19,272

EK 5. (Devamı) 8 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

4. Konuşmacı için	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	3,349	0,116	0,34	18,399
	2	3,393	0,16	0,47	12,671
	3	3,3	0,066	0,194	24,831
	4	3,491	0,258	0,758	0
	5	3,233	0	0	33,406
	6	3,402	0,169	0,497	11,478
	7	3,309	0,076	0,222	23,605
	8	3,375	0,142	0,418	14,989
5. Konuşmacı için	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	4,113	0,011	0,033	4,059
	2	4,102	0	0	5,515
	3	4,117	0,015	0,044	3,581
	4	4,103	0,002	0,004	5,317
	5	4,144	0,043	0,125	0
	6	4,109	0,008	0,022	4,527
	7	4,124	0,022	0,066	2,598
	8	4,134	0,033	0,096	1,278
6. Konuşmacı için	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	5,11	0,009	0,026	3,421
	2	5,114	0,012	0,037	2,942
	3	5,102	0	0	4,561
	4	5,137	0,035	0,103	0
	5	5,102	0,001	0,002	4,458
	6	5,12	0,019	0,055	2,15
	7	5,108	0,006	0,018	3,767
	8	5,128	0,026	0,077	1,181

EK 5. (Devamı) 8 Konuşmacı için sinyallere uygulanacak gecikme miktarları

7. Konuşmacı için	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	6,23	0,061	0,181	10,038
	2	6,254	0,085	0,251	6,944
	3	6,204	0,035	0,103	13,477
	4	6,308	0,139	0,408	0
	5	6,169	0	0	18,005
	6	6,259	0,09	0,266	6,296
	7	6,209	0,04	0,117	12,824
	8	6,244	0,076	0,222	8,2
8. Konuşmacı için	Mikrofon No	Mikrofona Uzaklık Metre	Gecikme Fark Metre	Gecikme ms	Sinyale Uygulanacak Gecikme
	1	6,23	0,063	0,185	9,71
	2	6,202	0,035	0,102	13,384
	3	6,252	0,085	0,249	6,901
	4	6,167	0	0	17,867
	5	6,305	0,138	0,405	0
	6	6,207	0,04	0,116	12,731
	7	6,257	0,09	0,263	6,253
	8	6,244	0,077	0,227	7,871

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1984 yılında Polatlı'da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Anadolu Lisesi'ni Polatlı'da tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2004 yılında kazandı. Üniversiteden 2008 yılında mezun oldu. Mustafa Kemal Üniversitesi İskenderun Meslek Yüksekokulu Elektronik haberleşme ve Endüstriyel otomasyon Bölümlerinde 2 dönem kısmi zamanlı Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. 2010 yılında Hacettepe Üniversitesi Polatlı Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sahne ve Gösteri Sanatları Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak işe başladı. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Eylül 2009 – Ocak 2015 tarihleri arasında Yüksek Lisans öğrenimine devam etti ve 2015 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalından Yüksek Lisans derecesiyle mezun oldu. Halen Hacettepe Üniversitesi Polatlı Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sahne ve Gösteri Sanatları Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.