

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ORMANLIK ALANDA AKUSTİK HEDEF TESPİTİ**

**Necdet Yiğit EROĞLU**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKİM 2018**

**ANTALYA**

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

**ORMANLIK ALANDA AKUSTİK HEDEF TESPİTİ**

**Necdet Yiğit EROĞLU  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 10/10/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Jüri**

**İmza**

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi Bektaş ÇOLAK (Alanya Alaaddin Keykubat Üniv.)

## ÖZET

### ORMANLIK ALANDA AKUSTİK HEDEF TESPİTİ Necdet Yiğit EROĞLU

**Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Selçuk HELHEL**

**EKİM 2018; 49 Sayfa**

Akustik işaretler uzun yıllar boyunca denizaltı haberleşme sistemlerinde ve bazı biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Radyo frekans (RF) temelli sistemlerde olduğu gibi, akustik işaretler kullanılarak konum belirleme çalışmaları yıllar itibari ile önem kazanmaya başlamıştır. Ancak akustik konum belirleme çalışmaları zaman içinde akustik işaret kaynaklarının konumunun belirlenmesine doğru evrilmiş ve daha büyük önem taşır hale gelmiştir. Bu noktada akustik işaretler ile o işaretlere ait yankılar, taktik sahanın 2 boyutlu engel haritalarının elde edilmesine fırsat verir. Akustik kaynağın yönü ve derinliği yanı sıra iki boyutlu taktik saha engel haritalarının elde edilmesi askeri çatışma alanlarında büyük önem taşımaktadır. Bu arada elde edilen yöntemler mimaride ve müzik endüstrisinde de büyük değere sahiptir.

Yukarıda sayılan sonuçlara ulaşmak için akustik işaret kaynakları ile içinde bulunduğu ortamın etkileşiminin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında ağaç ve orman benzeri yapıların akustik işaretler ile olan etkileşimi ile bu etkileşimin yön bulma başarısına olan etkisi ele alınmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan ölçme düzeneği, verileri toplamak üzere tasarlanmış 2 boyutlu, 4 adet mikrofon dizisinden oluşmaktadır. Toplanan verileri değerlendirmek ve anlamlandırmak üzere farksal varış zamanından açı dönüşümü ve faz korelasyonu yaklaşımlarını kullanan C++ tabanlı yazılımlar gerçekleştirilmiştir. Sisteminin doğruluğunu garanti etmek üzere test ölçümleri tam yansız oda kullanılarak Akdeniz Üniversitesi EMUMAM laboratuvarlarında yapılmıştır. Ardından ormanlık alanda yapılan saha testlerinde akustik işaretin yönü  $\pm 3$  derece başarı ile tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Akustik, Akustik algılayıcılar, Ses yönü tahmini, Varış zaman farkı, Yön bulma, Yankı

### **JÜRİ:**

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi Bektaş ÇOLAK (Alanya Alaaddin Keykubat Üniv.)

## ABSTRACT

### DETECTION OF ACOUSTIC TARGETS IN FOREST AREA

Necdet Yiğit EROĞLU

MSc. Thesis in ELECTRICAL-ELECTRONICS ENGINEERING

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

OCTOBER 2018, 49 pages

Acoustic signals have been used extensively in submarine communications systems and in some biomedical applications for many years. As in radio-frequency (RF) based systems, positioning studies using acoustic signals have begun to gain importance over the years. However, acoustic locating studies have evolved over time to determine the location of acoustic signal sources and have become more important. At this point, the acoustic signals and their echoes allow creating 2D obstacle map of a the tactical scene. By the direction and depth of an acoustic source, we create the 2D dimensional obstacle map of a tactical area which has much importance for military conflict areas. Besides the military importance, the methods obtained have great value both in the architecture and music industry.

In order to achieve the mentioned results, it is very important to examine the interaction of the acoustic signal sources with the environment. In this study, we investigate the interaction of a signal with trees and forest as well as the effect of this interaction to finding the direction. It consists of 2 dimensional 4 microphone arrays designed to collect the measurement data generated in this direction. To analyze the collected data, a C++ based software which calculates the difference of time of arrival and phase correlation was used. To ensure the accuracy of the system, test measurements were made at the EMUMAM laboratories of the University of Akdeniz using a full reflection-free room. Afterwards, the direction of the acoustic signals (including their echoes) were determined within  $\pm 3$  degree success in field tests made in forest area.

**KEYWORDS:** Acoustic, Acoustic sensors, Direction finding, Echo, Sound direction estimation, Time difference of arrival.

**COMMITTEE:**

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Assoc. Prof. Dr. Bektaş ÇOLAK (Alanya Alaaddin Keykubat Uni.)

## ÖNSÖZ

Yaşamım boyunca sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen aileme, ortaya çıkardığım bu tezi hazırlamamda bilgisi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk HELHEL'e ve değerli arkadaşlarım Atalay KOCAKUŞAK ve Merve SÜNEL'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iv
AKADEMİK BEYAN .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ii
ÇİZELGELER DİZİ .....	iii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	4
2.1. Ses Sinyali ve Yayılımı .....	7
2.2. Akustik İşaretlerin Yayılımı .....	7
2.3. Farksal Varış Zamanından Varış Açısı Dönüşüm .....	7
2.4. Dataların Alınması .....	7
2.5. Önvurgu Süzgeci .....	7
2.6. Hamming Pencereleme .....	9
2.7. Çapraz Korelasyon .....	10
2.8. İnterpolasyon .....	11
2.9. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) .....	12
2.10. Karesel genliğin spektral tutarlılığı .....	12
2.11. Farksal varış zamanından varış açısı dönüşümü .....	13
2.12. Faz korelasyonu .....	13
2.13. Noktaya dayalı akustik işaret tanımlama .....	14
2.14. Yer Efektü .....	16
3. MATERYAL VE METOT .....	17
3.1. İşaretlerin İşlenmesine İlişkin Yöntemler .....	17
3.1.1. Pencereleme işlemi .....	17
3.1.2. Önvurgu süzgecinden geçirmek .....	18
3.1.3. Baskın işaretin çıkartılması .....	18
3.1.4. İşaretin parmak izinin çıkartılması .....	18
3.1.5. İnterpolasyon .....	18
3.1.6. Alıcılar arasında çiftler halinde gecikmelerin hesaplanması .....	18
3.1.7. Hesaplanan gecikmelerden açı dönüşümü .....	18
3.1.8. Yön tahmininde bulunma .....	18
3.2. Donanımlar .....	19
3.2.1. Harici ses kartı .....	19
3.2.2. Dinamik mikrofonlar .....	19
3.2.3. Bluetooth hoparlör .....	20

3.3.	Kalibrasyon ve Referans Ölçümleri.....	21
3.3.1.	Kalibrasyon ölçümleri.....	21
3.3.2.	Yansımasız oda kalibrasyon ölçümleri.....	22
3.4.	Tek Ağaç Ölçümleri.....	22
3.5.	Ormanlık Alan Sınır Ölçümleri .....	23
3.6.	Ormanlık alan içi yol ölçümleri.....	24
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1.	Tek Ağaç Ölçüm Sonuçları.....	25
4.2.	Sınır Ölçümleri .....	26
4.3.	Ormanlık Alan Ölçümleri .....	28
4.4.	Planlanmamış Bir Alanda Ölçüm .....	29
4.5.	Zaman ve Faz Farkı Hesabı ile Yön ve Uzaklık Hesabı.....	32
4.6.	2-D Boyutlu Engel Haritasının Çıkartılması .....	34
4.7.	Sünme Bilgisini Kullanarak Yankı Kaynağının Sınıflandırılması .....	34
5.	SONUÇLAR.....	37
6.	KAYNAKLAR.....	38
	ÖZGEÇMİŞ	



## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ormanlık Alanda Akustik Hedef Tespiti” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir; bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

10/10/2018

Necdet Yiğit EROĞLU

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

dB : Desibel

Hz : Hertz

s : Saniye

kHz : Kilohertz

V : Volt

W : Watt

### Kısaltmalar

AÜ : Akdeniz Üniversitesi

AF : Alçak Frekans

ADD : Ayrık Dalgacık Dönüşümü

DFT : Ayrık Fourier Dönüşümü

AVS : Akustik Vektör Sensörü

CWT : Sürekli Dalgacık Dönüşümü

DOA : Varış Yönü

RF : Radyo Frekans

SDD : Sürekli Dalgacık Dönüşümü

TDOA : Varış Zamanı Farkı

SPL : Ses Basınç seviyesi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pencere fonksiyonu transfer fonksiyonu grafiği.....	9
Şekil 2.2. Zaman kayması olan iki sinyalin grafiği. ....	10
Şekil 2.3. İki sinyalin çapraz korele grafiği .....	11
Şekil 2.4. İnterpolasyon giriş ve çıkış sinyali .....	12
Şekil 2.5. Akustik işaretin parmak izinin çıkartılmasının akış şeması. ....	14
Şekil 2.6. Akustik işaretin parmak izi.....	15
Şekil 3.1. İşaretlerin işlenmesinin akış şeması. ....	17
Şekil 3.2. 44.1 kHz çözünürlüklü, eşzamanlı 4 kanal girişli harici ses kartı. ....	19
Şekil 3.3. Dinamik mikrofonlar. ....	20
Şekil 3.4. Mikrofonun frekans cevabı.....	20
Şekil 3.5. Bluetooth Hoparlör. ....	21
Şekil 3.6. a) 1-D karesel mikrofon diziliminin kalibrasyonu; b) 3-D Eşkenar üçgen mikrofon dizilimi. ....	22
Şekil 3.7. Tek ağaç ölçüm düzeneği. ....	23
Şekil 3.8. Ormanlık alan sınırı ölçüm düzeneği.....	24
Şekil 3.9. Ormanlık alan içi yol ölçüm düzeneği.....	24
Şekil 4.1. Tek ağaç ölçümünü gelen sinyalin genlik-zaman grafiği.....	26
Şekil 4.2. Tek ağaç ölçümü gelen sinyalin frekans-zaman grafiği .....	26
Şekil 4.3. Sınır ölçüm alanı.....	27
Şekil 4.4. Sınır ölçüm modeli. ....	28
Şekil 4.5. Orman içi ölçüm düzeneği.....	29
Şekil 4.6. 70 cm aralıklar ile yerleştirilmiş mikrofon dizini. ....	30
Şekil 4.7. Planlanmamış bir alanda ölçüm modeli.....	31
Şekil 4.8. Planlanmamış alanın ortalama ölçüm sonuçları. ....	32
Şekil 4.9. Örnek konum tespiti. ....	33
Şekil 4.10. Taktik sahanın çıkartılmış engel haritası.....	34
Şekil 4.11. Açık alan ölçüm sonuçları .....	36

## ÇİZELGELER DİZİ

<b>Çizelge 4.1.</b> Tek ağaç yankı işaretlerinin süresi ve şiddeti.....	25
---	----

## 1. GİRİŞ

Akustik işaretler en genel olarak ultrason, konuşma sesi, kızılötesi ve mekanik akustik işaretler başlıkları altında sınıflandırılabilir. İnsanı ve insan kulağını esas aldığımızda algılanabilen ses frekans bileşenleri 20 Hz ile 20 kHz arasında değişmektedir. Köpeklerin, balinaların, yarasaların ve daha pek çok hayvanın daha yüksek ve daha düşük frekans bileşenlere sahip ses işaretlerini duyduğu ve kullanabildiği bilinmektedir. 20Hz'in altındaki seslere infrasonik sesler denirken üstündeki sesler ultrasonik sesler olarak adlandırılır. Konuşma (insan) sesi frekans aralığı esas olarak 500Hz-3500Hz arasında değişir ve bu frekans bileşenleri işaretin kaynağına(sahibine) ait özel parmak izi bilgilerini de barındırır.

Akustik bilimi; sesin üretimi, iletimi, kontrolü, etkisi, içinde bulunduğu ortam ile etkileşimi ve nihai olarak geriye elde edilmesi ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Akustik işaretler de diğer elektromanyetik dalgalar gibi, içinde bulunduğu ortam ile etkileşime geçtiği malzemenin bazı özellikleri hakkında bilgiler edinmemize fırsat tanır. Akustik işaretler ile elektromanyetik işaretler arasındaki en temel fark kutuplanma diye adlandırılan dalga titreşim davranışının yönü ile ilgilidir. Akustik işaretler boyuna dalgalar olup titreşim yönünde yayılırken, elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır ve titreşim yönüne dik bir doğrultuda hareket ederler. Bu temel fark her iki dalga formunun pratik amaçlar için kullanımında bazı avantajları ve tez dezavantajları beraberinde getirir. Ancak çevremize baktığımızda hayatın akışı içerisinde her iki işaret türünün de doğal bir zorunluluk olarak kullanıldığını ve istesek de engel olunamadığını görürüz.

Ses kaynaklarının gürültüden arındırılması ve ses işaretlerinin hedef ortamda düzgün bir şekilde dağılmasını temin edecek tamamlayıcı çevre koşullarının oluşturulması (kapalı mekânlarda akustik mühendisliği uygulamaları), akustik biliminin önemli çalışma konularıdır. Bu bağlamda ateş altında kalmış bir askerî birliğin taktik davranışına katkıda sağlamak amacı ile ateş eden kaynağın yönünü ve kaynağın türünü (ateşli silahın tipini parmak izi çıkartarak) belirlemek büyük olduğu kadar kritik bir çalışma alanıdır. Parmak izi çıkartılmış ses kaynağının taktik sahadaki yansımaları vasıtası ile taktik sahanın iki boyutlu engel haritasının çıkartılması ve bu vesile ile gerektiğinde dost kuvvetlerin geri çekilme senaryosuna katkıda bulunmak mümkündür. Bu olay doğal yaşam içerisinde yarasalar tarafından kullanılmaktadır. Yarasalar, içinde buldukları ortamı haritalandırmak için 40 kHz–120 kHz frekans aralığındaki bileşenlerden oluşan işareti göndermekte ve yine kendi kanatlarına yerleştirilmiş çok sayıda algılayıcıdan aldıkları işareti kullanmaktadırlar. İşaretin üretilmesi, iletilmesi, geriye yansıyan işaretlerin algılanması ve anlamlandırılması çok hızlı bir şekilde yerine getirilmektedir. Yarasalar örnek alınarak üretilen ve SONAR adı verilen akustik dizi almaçları deniz daha görüntüleme ve hedefi yönünün tespiti amacı ile kullanılmaktadır. Uzun yıllar boyunca sivil ve askeri deniz altı araçları için kullanılan bu teknolojilerin karada olası kullanımına ilişkin sorulara yanıt Boomerang (ABD), Rafael anti-keskin

nişancı sistemi (İsrail) ve Ferret adlı küçük silah algılama sistemleri geliştiren şirketler ortaya çıkmıştır (Fan et al.). Ülkemizde de başta terörle mücadele kapsamında olmak üzere (ki sivil amaçlarla da kullanılabilir) bir patlamanın veya bir silah atışının kaynağının yönünü, yerini ve parmak izi üzerinden tipini tespit etmeye dönük çalışmalar desteklenmektedir.

Ses, havada moleküllerin titreşmesi ile ilerleyen bir tür boyuna dalgadır. Boyuna dalga olması nedeni ile davranışları, enine dalga formunda olan elektromanyetik dalgalardan farklılık gösterir. Elektromanyetik dalgalar vakumlu bir ortamda yayılabilirken, ses dalgaları ortamda moleküllere ihtiyaç duyar. Ses kaydeden cihazlarda cihazın kaydettiği en düşük ve en yüksek frekanslar arasındaki bölge ses bandı (AF bandı) olarak bilinir. Ses işaretinin havadaki hızı; ortam sıcaklığı 21°C olmak üzere, deniz seviyesinde 343.2 m.sn<sup>-1</sup> dir. Bu bilgilerden anlaşılacağı üzere sesin hızı basınca ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

$$C_{ideal} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot k \cdot T}{m}} \quad (1.1)$$

sigma = adiabatic indeks p=basınç ρ=yoğunluk gazın molar kütlesi kuru havanın m= tek bir molekülün kütlesi k=boltzman sabiti , T mutlak sıcaklık

Başta deniz altılar olmak üzere karada da askeri taktik sahalarda sesin ve sese ait yankıların parmak izini çıkartmak, çıkartılan parmak izine bağlı elde edilen işaretlerin yönünü ve konumu belirlemek, olası tehdidin belirlenmesi ve bertaraf edilmesi adına askeri bakımdan büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde büyük konferans ve konser salonlarında yankıya neden olan yüzeylerin belirlenmesi ve bu yüzeylerin uygun bir soğurucu ile kaplanması alan düzgünlüğü bakımından önem taşımaktadır. Tüm bu hedeflerin ulaşılması sahip olacağımız yönlendirilmiş akustik vericiler ve yönlendirilmiş akustik alıcılar vasıtası ile mümkün olacaktır. Bir başka ifade ile radyo bölgesinde kullandığımız anten dizilerinin yönlendirme ve yönlülük özelliklerinin akustik alıcı ve akustik verici sistemlerine uyarlanmasıdır. Yayılmış sensör dizilerinin farksal varış zamanından (TDOA) yön tahmini yapmak mümkün olacaktır. TDOA; farkında olmadan, her an kullandığımız Allah vergisi bir sistemdir. İnsanların birbirine göre farklı konumlara sahip kulakları sayesinde sesin yönünü keşfederler. Beyin; gelen seslerin yönlerini belirlemek için, alınan iki sinyal arasındaki zaman gecikmesini yorumlar. Benzer şekilde yapay TDOA tahmin sistemleri, kaynağı tespit etmek için sensor dizilerinden verileri alır ve matematiksel modeller ile yorumlar. Elde edilen yön bilgilerinin bir araya getirilmesi ile yankı işaretlerinde görülen sünme miktarı içinde bulunduğumuz ortamın iki boyutlu haritasının çıkartılmasına fırsat verir.

Farklı alıcılar tarafından alınan akustik işaretler ham bir veri yığınıdır. Bu ham ve işlenmemiş veriler içerisinde anlamlı birçok veri barındırmaktadır. Bu verileri çıkartmak için bir takım sayısal filtrelemeler ve işaret ayıklama metotları kullanmak

gereklidir. Çalışmada gelen sinyallerin süreksiz kısımlarından kurtulmak için Hamming pencereleme filtresi, yüksek frekansları baskın hale getirmek için önvurgu filtresi kullanılmıştır. Filtre çıkışındaki işaretlerin parmak izi çıkartılarak bu izlerin karşılaştırılması yapılmış ve aynı parmak izine sahip işaretler ayıklanmıştır. Parmak izi işaretin kaynağını doğru olarak tanımlayabilmek ,yani akustik işaretleri sınıflandırmak ve/veya karşılaştırmak için önemlidir. Böylece işareti özgün olarak kimliklendirmek mümkün hale gelir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan yöntem “Noktaya Dayalı Akustik İşaretin Parmak İzi Çıkartma” dır. İşaretin zaman-frekans alanında, frekansların zaman içerisindeki dağılımına bağlı olarak parmak izini çıkartılır. Böylece bu işaretin kimliği bu parmak izi ile eşleştirilmiş olur. Üretilen parmak izleri bir veri bankasında saklanır. Kimliği bilinmeyen bir işaret algılandığında mevcut veri bankasındaki veriler ile karşılaştırılarak kimliği bulunur.

Önerilen çalışma ile işaretin parmak izinin çıkartılması, çıkartılan parmak izinin oluşturulan parmak izi veri tabanında eşleştirilmesi, eşleştirme ile kaynağının tipinin belirlenmesi, alıcıya ulaşan tüm işaretlerin parmak izi eşleşmesine bakılarak yankı ve bilinmeyen çevre işaretleri olarak ayıklanması birinci basamak işlemler olarak hedeflenmiştir. Elde edilen ayıklanmış işaretlerden yansıma ve referans işaretler arasındaki zaman ve faz farkları bilgilerini kullanarak yansıma neden olan nesnelerin yön ve alıcıya olan uzaklıkları tespit edilerek içinde bulunulan taktik sahanın iki boyutlu engel haritası çıkartılmıştır. Engel haritasında her hangi bir konumda bulunan engelin sınıflandırılması ( çalı, iğne yapraklı ağaç, yüksek gövdeli ağaç, geniş yapraklı ağaç, kaya, duvar veya metal vb.) için ise işaretin zaman alanındaki sünme bilgisinden yararlanılmıştır.

Tezin 2. Bölümü’nde literatür taraması ayrıntılı bir biçimde verilmiştir. Tezin 3. Bölümünde tercih edilen Materyal ve Yöntem ile kullanılan düzeneklerin doğrulama amaçlı kalibrasyon çalışmaları da dahil olmak üzere ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca çalışmanın ele alındığı ortam dikkatlice anlatılmıştır. 4. Bölümde elde edilen bulgular ele alınarak yorumlanmış ve son bölümde de çalışma ile varılan hedefler tartışılarak geleceğe dönük önerilerde bulunulmuştur.

## 2. KAYNAK TARAMASI

Akustik işaretlerin içinde bulunduğu ortam ile etkileşimi sonucunda, elektromanyetik dalgalarda olduğu üzere, ortama ilişkin fiziksel parametrelerin belirlenmesi mümkün olduğu gibi bu etkileşimin ortaya çıkardığı sonuçlara bağlı olarak akustik kaynağın yönünü ve konumu bulmak mümkündür.

Bucur, 2005 yılında ağaçların ve bitkilerin sesin enerjisini yansıtarak, emerek ve soğuyarak zayıflatacağını belirtmiştir. Bir ormanın parametreleri olarak türünü, gövde çapını, ağaç sayısı, kabuğu, yaprak yoğunluğu ve gölgelik alanları belirler. 1 kHz frekanslı bir akustik dalganın gövde çapı ile karşılaştırılabilir bir dalga boyu ile yayıldığını belirtmiştir. Gövde, dallar ve yaprağın; gelen akustik enerjiyi dağıttığını belirtmiştir. Yüksek yoğunluklu yaprak bulunan ağaçların, kentsel alanlarda önemli bir azaltma sağlayacağını göstermiştir (Bucur 2005).

Aktaş vd. (2015); bir adet akustik vektör sensörü kullanarak(AVS), yankılanan ortamlarda yeni bir geniş bant akustik yön bulma yöntemi öneriyorlar. Çalışmalarında özellikle birden fazla sesin, birden fazla yoldan ve gürültüden etkilenmeyen kısımlarını çıkartmak üzerine çalışmışlardır. Elde etmiş oldukları bulgularda, frekans aralığı sınırlandırmadan her alınan sesin her frekansında 5 derecelik bir sapma ile kaynak yönlerini tespit etmişlerdir (Aktas vd. 2015).

Fan vd. (2010) yayınlarında, düzlem mikrofon dizileri ile ses kaynağının açısının ve mesafesinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Kullandıkları mikrofonları yerleştirmek için kullandıkları diziler, eşkenar üçgen ve karedir. Dizilerin köşelerine yerleştirilmiş mikrofonlara, kaynaktan gelen sesin farklı zamanlarda gelmesinin yaratmış olduğu gecikme farklarını kullanarak açıyı ve mesafeyi tahmin etmişlerdir. 4 mikrofonlu sistemin, 3 mikrofonlu sisteme kıyasla daha yüksek hassasiyete sahip olduğunu göstermişlerdir. Kullanmış oldukları quasi-L1 otokorelasyon algoritması ve enterpolasyon yöntemlerinin, gecikmelerin tahmin hızını ve doğruluğunu artırdığını belirtmişlerdir.

Pavlıdi vd. (2013) çalışmalarında, çoklu ses kaynaklarının lokalizasyonu ve sayma yöntemi sunmuşlardır. Lineer dizilerin belirsizliklerinden dolayı, 1 boyutta dairesel mikrofon dizisi kullanmışlardır. Kullanmış oldukları tahmin algoritmalarının, diğer dizi örnekleri için de uygun olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarının temel dayanakları, bir kaynağın diğerlerinden baskın olduğu zaman-frekans bölgelerini belirleyerek diğer alıcılar ile histogramları eşleştirerek aktif kaynaklarının sayısını ve geliş yönlerini (DOA) tahmin etmesine dayanır. Elde etmiş oldukları sonuçlarda birden fazla kaynağı tahmin etme başarıları %87'den fazla, genel başarı oranları da %93.52 olmuştur. Gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olduğunu ve kullanılan işlemcisinin işlem zamanının %55' inin kullandığını belirtmişlerdir.

Asaei vd. (2007) konuşmacı yön bulma teknikleri ve yüksek kalitede sinyallerin alınması üzerine inceleme yapmışlardır. İki temel teknik üzerinde durmuşlardır; genelleştirilmiş çapraz korelasyon (GCC) ile varış zamanının farkı (TDOA) ve yönlendirilmiş yanıt gücü (SRP) ile hüzmeye (beamforming). Gerçek veriler ile yapmış olduğu simülasyon sonuçlarına göre, kısa data parçalarına ayrıldığında SRP'nin GCC'den %40 daha doğru sonuçlar verdiğini ve hesaplama maliyetinin 50 kat



düşüğünü sonuçlarında belirtmişlerdir. (Asaei, Ghanbari vd. 2007)

Pahlavan vd. (2018) yayınlarında, beton yapıların kapalı yüzey çatlaklarında ultrasonik dalgaların davranışlarını gözlemlemişlerdir. Ultrasonik dalgalar, çatlaklar ile temas ettiği zaman çatlaklardaki seyahat süresini ve dalgaların genliklerini incelemişlerdir. Ölçümlerinde, alıcılar 1-D lineer dizi olarak konumlandırılmıştır. Ölçüm sonuçlarında 0.05 mm ile 3 mm arasındaki kusurlu çatlaklardan geçerken dalgaların genliğinin ve seyahat sürelerinin etkilendiğini, seyahat sürelerindeki etki özel bir duruma bağlı olmaksızın 20 ms geciktiği gözlemlenmiştir.

Agounad vd. (2017) elastik silindirik bir kabuk tarafından bistatik yöntem ile akustik saçılmanın zaman ve frekans analizleri, ekoların varış zamanlarının ve kabuk etrafında ilerleyen elastik dalgaların bistatik açının bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymaktadırlar. Sunulan sonuçlarında, zaman-frekans analizinin önemine değinmişlerdir. Zaman-frekans gösteriminin; sinyal hakkında niteliksel bilgileri, grup hızı dağılımı ve kesim frekansları gibi nicel bilgilere ulaşmaya olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Agha vd. (2017) kentlerde popülasyonun artması ile konutlar, ana yol ve otoyollara yakın yerleşmiştir. Sürücülerin düşüncesiz sürüş davranışları; yasadışı egzoz borusu, yarış yapılması vb. davranışların artması buna ek olarak rutin trafik gürültüsünün konut sakinlerini rahatsız etmesi sorunları üzerine çalışma başlatmışlardır. Bu araçların trafikte tespit edilmesi için trafik polislerinin ses şiddeti ve kamera ile sürekli denetim yapma zorluğu sorununa çözüm bulmak için çalışmışlardır. Gürültü araç gözetleme kamerası (NoiveICam), belli bir seviyenin üzerinde gürültü üreten araçları tespit etmek için yüksek hızlı kamerayı tetikler. Çift yönlü mikrofon kullanarak yan şeritlerden gelen parazitlerin bastırılmasında nasıl yardımcı olabileceği gösterilmiştir. Tetiklenen olaylarda yanlış tetikleminin önüne geçmek ve filtrelemek için TDOA tabanlı yaklaşım kullanılmıştır.

Ghamdan vd. (2017) akıllı makinelerde hızlı teknolojik ilerleme ile günlük insan yaşamına katılımı ile çeşitli ortamlarda kaynak konumunun tahmin edilmesinin ihtiyaç haline geldiğini belirtmişlerdir. Çalışmaları, iki mikrofonlu binoral işaretlerin özellikleri ve iki sinyalin binoral büyüklük spektrum farklılıklarına dayanmaktadır. Gaussian karışım modellerini (GMM) farklı yankılı odalarda, mesafelerini ve azimut açısını bulmak için kullanmışlardır. Sonuçlarında ses kaynağının mesafe ve yönünü başarılı bir şekilde bulduklarını sunmuşlardır.

Tarrero vd. (2007) çalışmalarında farklı orman türlerindeki ses zayıflamasının deneysel bir araştırmasını yapmışlardır ve Nord 2000 modelinin bir bölümünü doğrulamaya çalışmışlardır. Yaprak döken, yaprak dökmeyen, ağaç yoğunluğu, gövde çapı vb. farklı ağaçları olan ormanlık alanlarda ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Nord 2000 modeli, yaptıkları gözlemlerde 40 metreden az olan alıcı kaynak mesafeleri için ağaçların ses yayılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Ağaçların yoğunluğu ve gövde boyutları arttıkça neden oldukları zayıflamanın arttığını, çoğu durumda yer efektinin ön görülen azalmasının tutarlı olduğunu ve bazı durumlarda modellerinin başarısız olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yang vd. (2011) sokaklar ve meydanlardaki çoklu yansımaların ses enerjisinin

azalmasında etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Bu fenomenden yola çıkarak çalışmalarında tek bir ağacın akustik etkisi üzerine temel araştırmalar yapmışlardır. Üç farklı tek ağaç etrafında yapmış oldukları ölçümlerde ağaç kriterleri; gölgelik alanı, türleri, yaprak miktarları göz önüne almışlardır. Çalışmada ek olarak alıcı mesafesinin ağaç üzerine etkisini de araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre tek bir ağacın yüksek frekanslarda RT (yansıma zamanı) arttığı, maksimum 0.4 sn çıktığı bulgularına ulaşmışlardır. Düşük frekanslarda ses enerjisinin RT üzerindeki etkisinin önemsiz, 1 kHz üzerinde önemli bir hale gelmiş, yaklaşık 0.2 sn RT artışı gözlemişlerdir. Artan frekans ve yaprak yoğunluğu ile bu etkinin ve geri saçılma etkisinin arttığını göstermişlerdir.

Yang vd. (2013) kentsel alanlardaki ağaçların ses enerjisinin yayılmasında etkili olabileceği, ses seviyesinin dağılımı ve yankılanmasını etkileyebileceği üzerinde durmuşlardır. Grup halindeki ağaçların bu etkilerini sayısal olarak tahmin etmek için tek bir ağaç üzerinde yankılanma zamanlarını ve ses dağılımını incelemişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçlarda ölçümlerin tekrarlanabilirliğini onaylamışlardır. 250 Hz' in altında açık alan ile bir ağacın davranışı arasında aynı ölçüm kriterlerinde bir fark görememişlerdir. Ağaç tacının artan yüzey alanı 4000 Hz de 0.28 sn yankı süresini arttırmıştır. 2000 Hz'e kadar yapraklı bir ağaç ile yapraksız bir ağaç aynı miktarda saçılma enerjisi ürettiği, 2000 Hz den 4000 Hz'e kadar 0.08 sn artış gözlemlenmiştir. Şehir merkezlerinde gürültünün azaltılması için ağaçların yapılarının, şekillerinin ve dikim şemalarının önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Ding vd. (2010) çalışmalarında tek bir ağaç tarafından akustik saçılma miktarını tahmin etmek için darbe üretici ve tek bir mikrofon kullanarak kolay bir ölçüm sistemi sunmaktadırlar. Zaman alanında ayırım yaparak doğrudan ve dağılarak gelen ses dalgalarının ayrılabilmesini, ayrıca ağacın taçları tarafından erken ve geç saçılmalarının ayırt edilebileceğini belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda ağacın taçlarından, dallarından saçılmaların açıkça görülebildiklerini bildirmişlerdir.

Merimaa (2002) kapalı alan içerisindeki ses alanının, yayılan ses dalgaları saçılma, yankılanma ve farklı yansıtıcılardan dolayı karmaşık bir yapıda olduğunu ve bu soruna çözüm olarak 3-D mikrofon dizi tekniklerini ele almaktadır. Çalışmasında zaman gecikmesi tabanlı lokalizasyon prensiplerini tanıtmış ve seslerin dağılımını başarılı bir şekilde görselleştirmiştir.

Kang vd. (2012) ses kaynağının lokalizasyon sistemine yeni bir yaklaşım ve dış ortamda mikrofon dizisi ile güvenlik kameraları için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmalarında, dizi mikronlar kullanarak çevresel gürültüyü azaltmak, varış zamanı gecikmesini iyileştirmek için genel bir pencereleme fonksiyonu ile gelen sinyalleri çapraz korelasyon ile filtreleyerek iyileştirmek için yeni yaklaşımlar sunmuşlardır. Bir ses kaynağının yönünü lokalize edebilmek için 4 mikrofonlu gözetleme kamerası sunmuşlardır.

## 2.1. Ses Sinyali ve Yayılımı

Ses sinyali herhangi bir sesin iletilmek veya saklanmak için elektromanyetik enerjiye çevrilmiş halidir. Bu sinyal AF kısaltmasıyla da gösterilir.

Ses havadaki titreşimin duyu organlarındaki oluşturduğu duygudur. Titreşim çok farklı frekanslarda olabilir. Bu titreşim mikrofon vasıtasıyla ses sinyaline çevrilir. Ses sinyallerini alan cihazın kaydettiği en düşük ve en yüksek frekans aralığı bölgesine ses bandı (AF bandı) olarak bilinir (Bucur ve Voichita 2005).

## 2.2. Akustik İşaretlerin Yayılımı

Ses hızı deniz seviyesinde ve 21 °C sıcaklıkta yaklaşık 343.2 m/s olarak alınır. Ses hızı frekansa bağlı olarak değişmez, her frekansta ses aynı hızda gider.

Havanın sıcaklık, yoğunluk durumuna göre sesin yayılma hızı değişir. Soğuk havada ses hızı azalır. Ses sıcak havadan soğuk havaya geçerken yayılma doğrultusunu değiştirir.

Sesin havadaki hızı yaklaşık olarak şu formülle hesaplanabilir (1.1):

$$C_{hava} = (331.5 + (0.6 \cdot \vartheta)) ms^{-1} \quad (2.1)$$

Formüldeki  $\vartheta$  sıcaklığın derece santigrat (°C) cinsinden ifadesidir.

## 2.3. Farksal Varış Zamanından Varış Açısı Dönüşüm

Şekil 2.1’de gösterilen akış şemasında alınan sinyallerin gecikmelerinin hesaplanıp varış açısı dönüşümü yapmak için uygulanan metotlar, uygulama sırasına göre gösterilmiştir. Bu şemada gösterilen metotlar sırası ile açıklanacaktır.

## 2.4. Dataların Alınması

Datalar 4 kanallı eş zamanlı kayıt yapan karıştırıcıdan alınır, pencere uzunluğu büyüklüğünde parçalara bölünür. Şekil 3.7’de simgeler; dr alıcının sınıra olan uzaklığı, Rx alıcı, Tx verici, dt ormanlık sınırın vericiye olan uzaklığı, dd vericinin alıcıya olan uzaklığıdır.

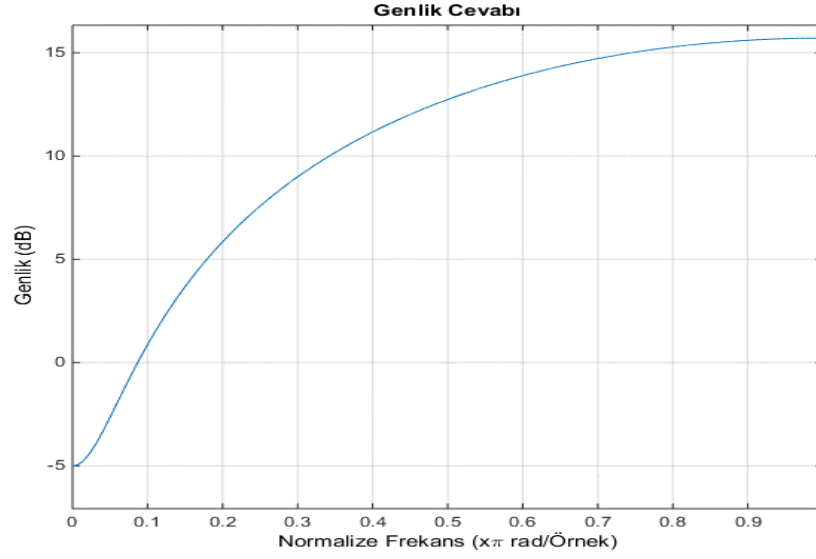
## 2.5. Önvurgu Süzgeci

Ön vurgulama işleminde giriş işareti birinci dereceden bir FIR süzgeç girişine uygulanır. Birinci dereceden süzgecin transfer fonksiyonu,

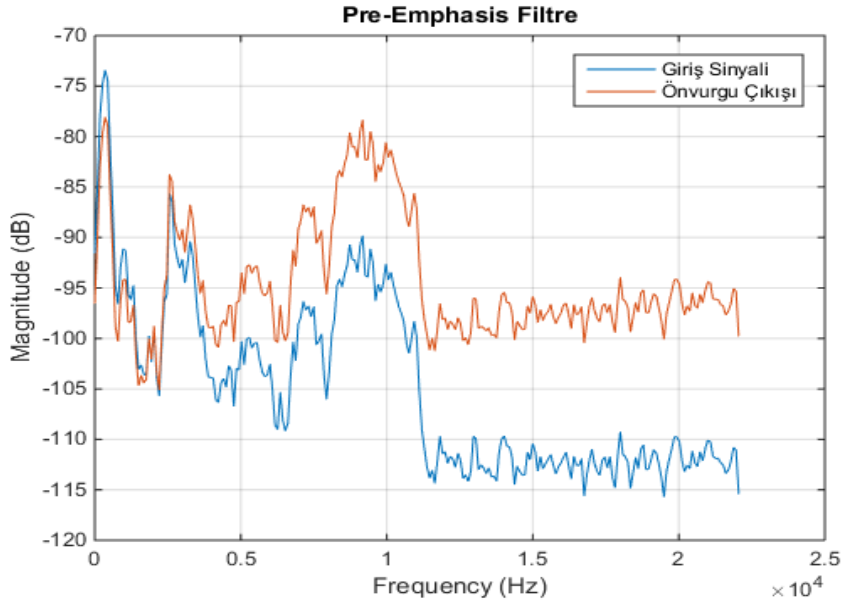
$$H(z) = 1 - 0.95z^{-1} \quad (2.2)$$

Ön vurgulama işlemini, sinyalin içerisindeki yüksek frekans bileşenlerini daha baskın hale getirmektir.

Ön vurgulama Süzgeci Transfer Fonksiyonu Cevabı,



Şekil 2.2. Ön vurgu süzgeci transfer fonksiyonu grafiği ön vurgulama cevabı



Şekil 2.3. Ön vurgu süzgeci çıkışı

## 2.6. Hamming Pencereleme

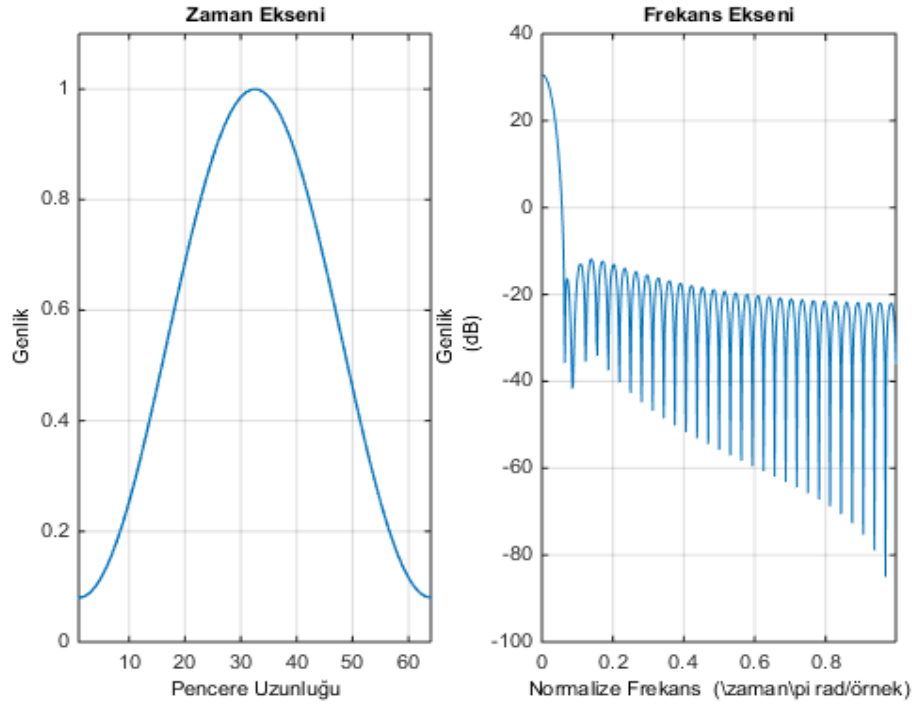
Çerçeveleme işleminde sinyalin başındaki ve sonundaki süreksiz kısımları azaltmak, dolayısıyla sinyalin başındaki ve sonundaki bilgi içermeyen bölümleri bastırarak spektral bozulmayı engellemektir. Giriş işaretimizi  $x(n)$ , pencere fonksiyonunu  $w(n)$  ve çıkış işaretimizi ise  $y(n)$  ile ifade edecek olursak, çıkış işaretimiz,

$$w(n) = \alpha - \beta \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$

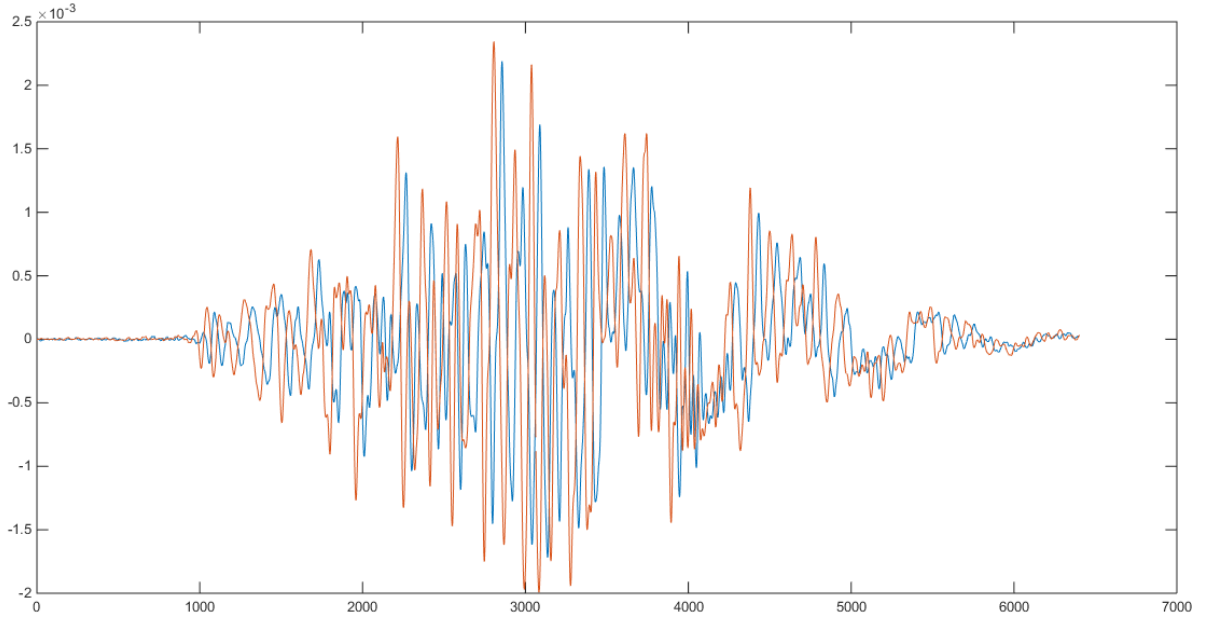
$$y(n) = x(n) \cdot w(n)$$

(2.3)

Hamming Pencereleme Fonksiyonu şeklinde olacaktır. Ses sinyallerinde pencereleme fonksiyonu olarak Hamming penceresi tercih edilmiştir.



Şekil 2.1. Pencere fonksiyonu transfer fonksiyonu grafiği



Şekil 2.2. Zaman kayması olan iki sinyalin grafiği.

## 2.7. Çapraz Korelasyon

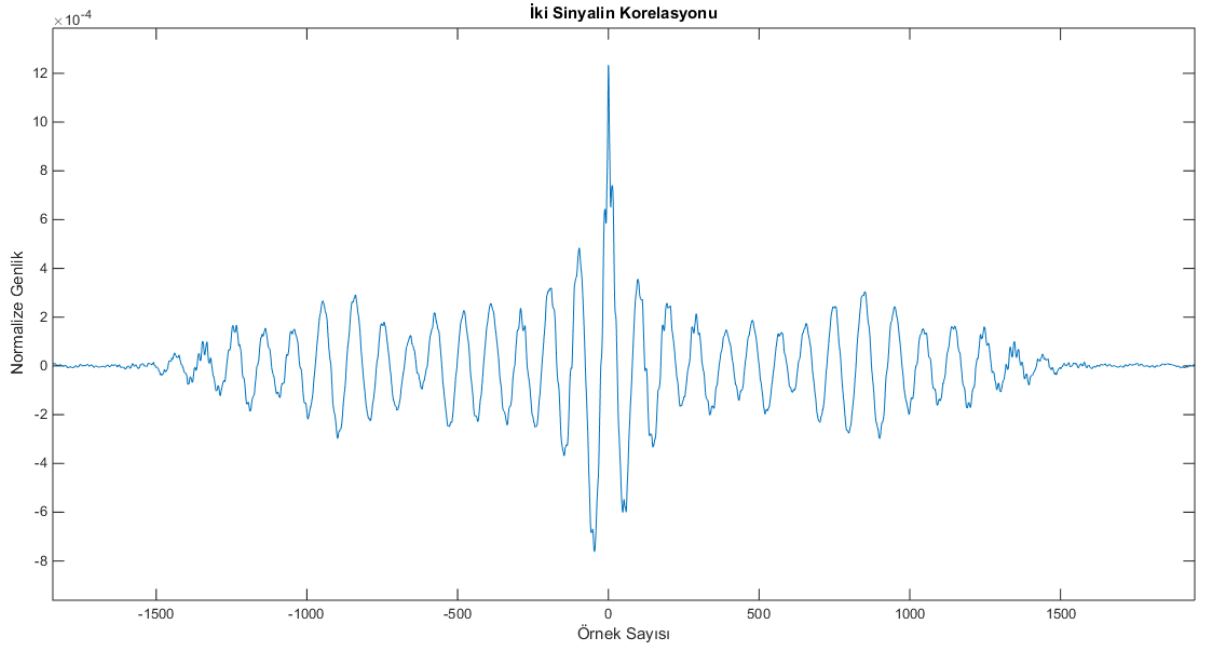
İki sinyal verisi arasındaki benzerliği ölçmeye yarayan yöntemdir. Çoğu uygulamada sinyaller arasındaki fark ya da oran sabitse bu sinyaller birbirine benzer kabul edilebilir. Normalize etmedeki amaç aralarındaki genlik farkı ya da oranı sabit olan sinyallerini, bu farklılıklarının korelasyon değerine etkisini yok etmektir. Normalizasyon özellikle uzaklığa bağlı olarak genliklerdeki azalmadan doğan farkı ortadan kaldırmak içindir.

İki farklı zaman dizileri arasında, X ve Y iki sinyal arasında çapraz korelasyon döndürür. Çapraz korelasyon gecikme fonksiyonu olarak X ile Y arasında kaydırma yapılarak benzerlik ölçülür. Benzerliğin maksimum olduğu noktada gecikme tespit edilmiş olur.

$$R_{xy}(m) = E\{x_{n+m}y_n^*\} = E\{x_n y_{n-m}^*\}$$

$$\hat{R}_{xy}(m) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m}y_n^*, & m \geq 0, \\ \hat{R}_{xy}(-m), & m < 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

Çapraz Korelasyon Fonksiyonu

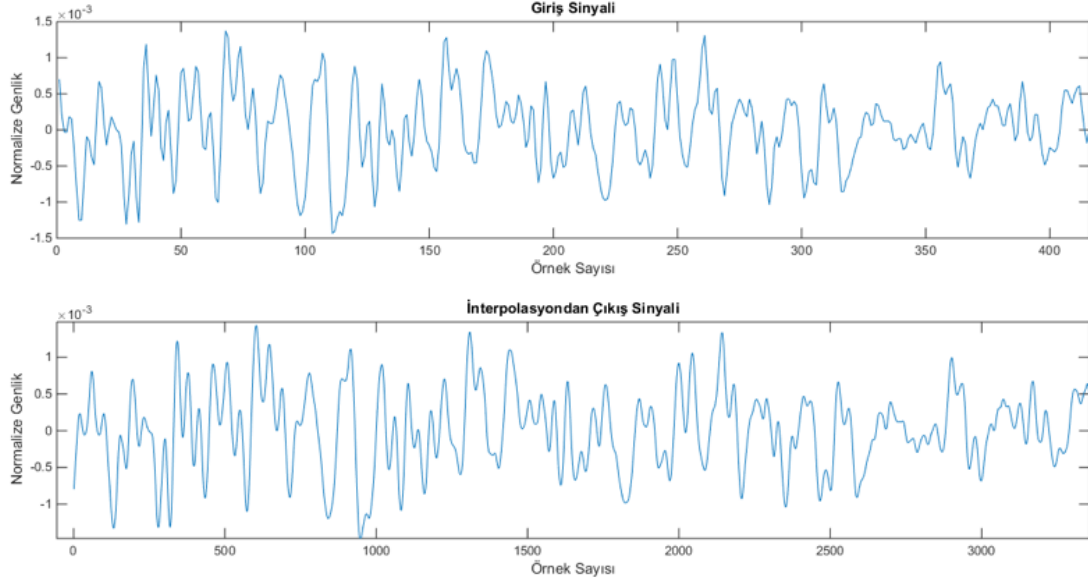


**Şekil 2.3.** İki sinyalin çapraz korele grafiği

## 2.8. İnterpolasyon

Değer noktalarından yola çıkarak bu noktalar arasında, farklı bir yerde ve değeri bilinmeyen bir noktadaki olası değeri bulmayı veya tahmin etmeyi sağlayan yöntemlere verilen genel isimdir. Çok az bir veri uzunluğuna sahip bir veri grubumuz olduğu zaman, veri çözünürlüğünü artırmak için değerlere bağlı olarak, noktalar arasında ara değerlendirme yapmaktır.

İnterpolasyon uygulanarak Şekil 2.4’de görüldüğü üzere veri çözünürlüğü artırılmıştır.



**Şekil 2.4.** İnterpolasyon giriş ve çıkış sinyali

## 2.9. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD)

N örnekten oluşan konuşma parçasını zaman alanından , frekans alanına çevirmek için Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanır. HFD, Ayrık Fourier Dönüşümünü (AFD) hızlandırmak için uygulanan bir algoritmadır. N, örnekli bir set için AFD'nin

Matematiksel ifadesi,

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-2\pi jkn/N}, \quad n = 0,1,2,\dots,N-1 \quad (2.5)$$

Hızlı fourier dönüşümü şeklindedir. Şekil 2.3.’de ön vurgulama işlemi yapılmış ve Hamming penceresi ile pencerelenmiş konuşma çerçevesinin Hızlı Fourier Dönüşümünden elde edilen genlik spektrumu görülmektedir.

## 2.10. Karesel genliğin spektral tutarlılığı

Eşit uzunluktaki iki sinyal dizisinin spektrumlarının normalize edilmiş karesel genliklerinin tutarlılığına bakılır. X ve Y örneklerinin karesel güç spektral yoğunluğunun her frekanstaki gücünü karşılaştırarak doğruluğu sağlanır.

$$c_{xy}(f) = \frac{|P_{xy}(f)|^2}{P_{xx}(f)P_{yy}(f)} \quad (2.6)$$



$$C_{xy}(f) = \frac{|H(f)P_{xx}(f)|^2}{P_{xx}(f)P_{yy}(f)} = \frac{|H(f)P_{xx}(f)|^2}{P_{xx}^2(f)|P_{yy}(f)|^2} = \frac{|P_{xx}(f)|^2}{P_{xx}^2(f)} = 1 \quad (2.7)$$

Karesel genliği spektral tutarlılığı

### 2.11. Farksal varış zamanından varış açısı dönüşümü

Hesaplanan geliş zamanlarının gecikmesinden geliş açısı dönüşümü yapılmaktadır.

$$\begin{aligned} \phi_{xy}^{(\omega)}(\theta) &= \phi_{ss}(\omega)e^{-j\omega\tau_{xy}(\theta)}, \\ \phi_{yz}^{(\omega)}(\theta) &= \phi_{ss}(\omega)e^{-j\omega\tau_{yz}(\theta)}, \\ \phi_{zx}^{(\omega)}(\theta) &= \phi_{ss}(\omega)e^{-j\omega\tau_{zx}(\theta)}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

Farksal varış zamanı hesabı (2.8).

$\tau_{xy}(\theta), \tau_{yz}(\theta), \tau_{zx}(\theta)$  İkili çiftler halinde eşleştirilen mikrofonlar arasındaki gecikmeler,

$$\begin{aligned} \tau_{x2y}(\phi) \underline{\Delta} \tau_{yz}(\phi) - \tau_{xy}(\phi), \\ \tau_{z2y}(\phi) \underline{\Delta} \tau_{yz}(\phi) - \tau_{zx}(\phi), \end{aligned} \quad (2.9)$$

Varış farkından varış açısı dönüşümü (2.9).

### 2.12. Faz korelasyonu

Alınan iki sinyalin başındaki ve sonundaki süreksiz kısımları atılması için pencereleme fonksiyonu uygulanır. Çözünürlüğü artırmak için genellikle alınan sinyallere interpolasyon uygulanır. İki sinyale de fourier dönüşümü uygulanır.

$$G_a = F(G_a), G_b = F(G_b) \quad (2.10)$$

Fourieri alınan iki sinyalin ikincisinin kompleks eşleniğini alıp normalize edilip, eleman çarpılarak çapraz güç spektrumu hesaplanır.

$$R = \frac{G_a \cdot G_b^*}{|G_a \cdot G_b^*|} \quad (2.11)$$

Eleman eleman çarpımı denklem (2.11).

$$R = \frac{G_{a,jk} \cdot G_{b,jk}^*}{|G_{a,jk} \cdot G_{b,jk}^*|} \quad (2.12)$$

Elde edilen capraz korelasyon verisine ters fourier dönüşümü uygulanarak korele edilmiş sinyal genlik-zaman alanında elde edilir.

$$r = F^{-1}\{R\} \quad (2.13)$$

Korele edilmiş sinyalin genlik olarak en büyük pozisyonu bize maksimum gecikmeyi verir.

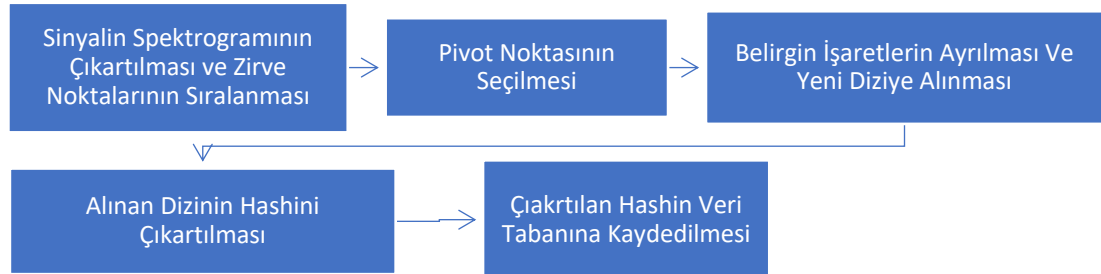
$$(\Delta_x, \Delta_y) = \arg(\max_{(x,y)}\{r\}) \quad (2.14)$$

### 2.13. Noktaya dayalı akustik işaret tanımlama

Gelen akustik işaretlerin açık alanda yön tayinini başarılı bir şekilde yapmak için işaretin parmak izini çıkartma ihtiyacı doğmuştur. Ortam koşullarına bağlı olarak gelen orijinal işaretin saçılma, kırılma ve yansıma olaylarının neden olduğu aynı parmak izine sahip kopya işaretlerin yankılanma noktaları ölçüm sırasında birer kaynak olarak görülecektir. Kopya işaretlerinin tanımlanması ve ölçümlerden eliminasyonunu yapmak doğrudan etkileyen faktördür.

Alınan sinyaller zaman alanında kaydedilmektedir ve sadece zamana bağlı olarak genlik değişimlerini göstermektedir. Fourier teoremi her bir dalganın muhtemel sonsuz sayıda sinüs dalgasının toplamına eş değer olduğunu belirtmektedir. Frekans alanında incelenen sinyal bize sinyalin tamamına dair hangi frekansları içerdiği hakkında bilgi verir. İşaretin parmak izini çıkartmak istiyorsa tek başına frekans alanı yeterli olmaz, bunun için frekans-zaman alanında incelemek gerekir.

Sinyalleri küçük zaman dilimlerine bölüp fourier dönüşümlerini alıp frekans zaman alanında spektrogramını elde ederiz. Elde edilen bu spectrogram'dan sinyalin parmak izini çıkartabiliriz (Hashmi vd. 2016).

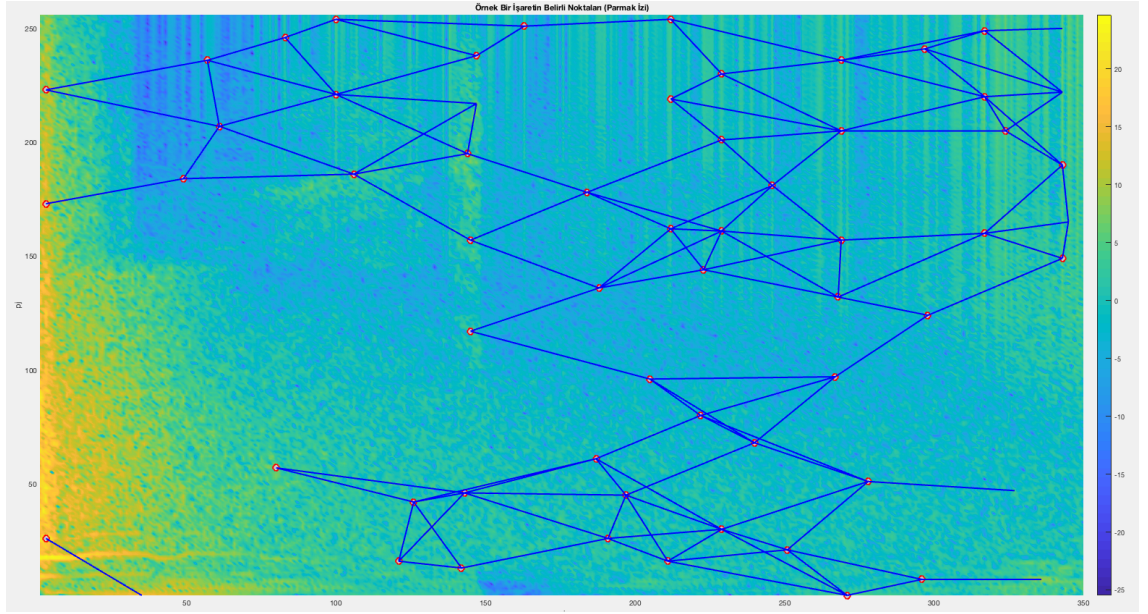


Şekil 2.5. Akustik işaretin parmak izinin çıkartılmasının akış şeması.

Belirgin işaretleri çıkartma;

- 1- Spektrogramdaki zirve noktaları x koordinatında sıralanır.
- 2- Her bir tepe noktasına  $p_i$  ve  $p_i$ 'nin koordinatları  $(x_i, y_i)$  kabul edersek
- 3-  $x_j > x_i$  olduğu  $p_j$  noktalarında, eğer  $x_j < x_i + t + h$ ,  $y_j < y_i + (f/2)$  ve  $y_j > y_i - (f/2)$  ise  $(p_i, p_j)$  çifti  $\Gamma$  dizisine eklenir.

Artık  $\Gamma$  dizisi bizim parmak izimizdir (Gutiérrez vd. 2016).



Şekil 2.6. Akustik işaretin parmak izi.

#### 2.14. Yer Efekti

Yer yüzeyinin yapısı, sesin yayılımı üzerine büyük oranda etki etmektedir. Yer yüzeyinin düz, bitki, yaprak vb. gibi çeşitliliğine göre etkisi değişmektedir. Bu yer yüzeyinin yapısını sınıflandırmak için iki adet temel parametre bulunmaktadır. Bunlar akış direnci (  $R_s$ ;  $10^3 P_a sm^{-2}$  ) ve gözeneklilik (%) olarak ifade edilmektedir (Bucur ve Voichita 2005).

Örnek olarak çam ağacı yaprağı, düz bir yüzeye göre sesi 9.9dB zayıflatmaktadır. 2 kHz üzeri frekanslarda soğurma oranı yaklaşık olarak 1 seviyelerine yaklaşmaktadır (Bucur ve Voichita 2005). Bu çalışmada yer yüzeyi etkisi, zaman sınırı ve ölçüm zorluğu nedeni ile ihmal edilmiştir.

İleriki zamanda yapılacak olan çalışmalarda bu etki kesinlikle göz önünde bulundurulacaktır.

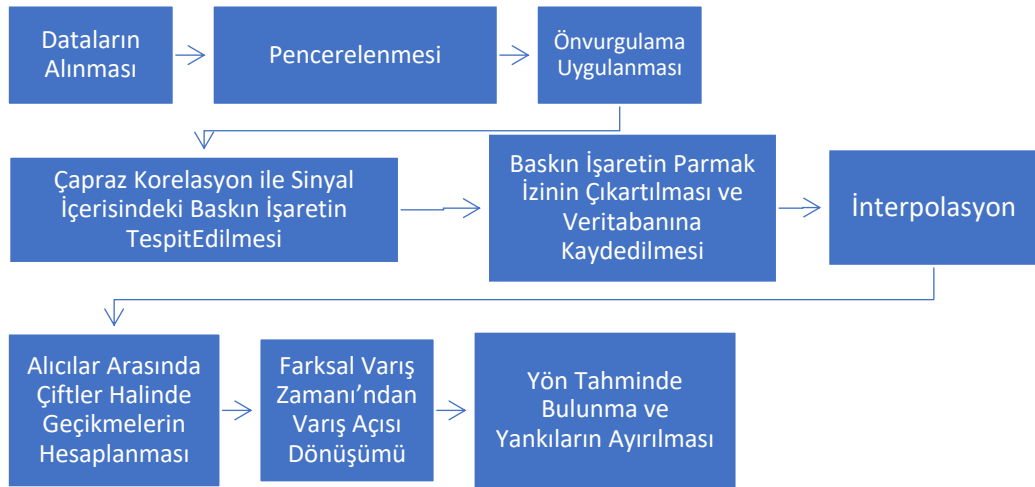
### 3. MATERYAL VE METOT

Akustik işarete ilişkin asıl ve yankı kaynaklarının ormanlık alanda yönünün belirlenebilmesi için ilk olarak işaretin işlenmesine ilişkin takip edilmesi gereken yöntemler bulunmaktadır. Aşağıda ilk olarak işaretin işlenmesine ilişkin yöntemler ayrıntılı bir şekilde ele alındıktan sonra devamında çalışmanın yürütüldüğü ortam ile kullanılan donanım ve yazılıma ilişkin kısımlar ele alınmıştır.

Yapılan deneylerde ses işaretlerini algılamak ve bunları bilgisayar ortamına aktarmak için projede 4 adet mikrofon, harici ses kartı ve ses işaretlerini üretmek için kablosuz bluetooth hoparlör ve enerji sağlaması için güç kaynağı kullanılmıştır.

#### 3.1. İşaretlerin İşlenmesine İlişkin Yöntemler

Alıcılardan alınan analog sinyallerden anlamlı veriler çıkartabilmek için bir takım işaret işleme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Analog sinyallerin dijital ortama taşınması için yapılan analogdan dijitale dönüştürme işlemi bizim için mikserimiz 16 bit 44.1 kHz çözünürlükte dijital verilere dönüştürmektedir. Bu dönüşümden itibaren işaret işleme yöntemleri Şekil 3.1’de gösterilen akış şemasına göre sırası ile anlatılacaktır.



Şekil 3.1. İşaretlerin işlenmesinin akış şeması.

#### ■ Pencereleme işlemi

Dijital hale dönüştürülmüş sinyallerin mikserden alınması kesintisiz bir akış halinde gerçekleşmektedir. Bu akış 1024'lük çerçeve uzunluğunda 4 kanaldan eş zamanlı olarak alınmaktadır. Alınan bu çerçevelerin başındaki ve sonundaki bilgi içermeyen, süresiz kısımları çıkartarak spektral bozulmayı önlemektedir.

### 3.1.2. Önvurgu süzgecinden geçirmek

Çevre koşullarına bağlı olarak, alınan akustik işaretlerin içerisinde çoğunlukla alçak frekanslar baskın halde bulunmaktadır. Bu çalışmada bizim için önemli olan yüksek frekanstaki sinyallerin baskın hale gelebilmesi için uygulanmıştır.

### 3.1.3. Baskın işaretin çıkartılması

Sinyal içerisinde baskın olan işaret çapraz korelasyon ile çıkartılır. Bu işlem sonucunda spektral olarak sadeleşmiş yankılardan arınmış işareti elde ederiz.

### 3.1.4. İşaretin parmak izinin çıkartılması

Asıl işaret ile yankıların ayırma sırasında, alınan sinyallerin yankı olup olmadığını anlamak için alınan işaretler ile asıl işaret kabul ettiğimiz sinyali karşılaştırmak için parmak izine ihtiyaç duyarız. Bu karşılaştırma sırasında bir tolerans oranı tanımlanmaktadır. Tolerans oranı parmak izlerinin hangi oranda uyuşmasının yeterli olduğunu belirler. Tüm parmak izleri ile karşılaştırdıktan sonra tolerans oranını sağlayan ve en iyi uyuşan işareti bize döndürür.

### 3.1.5. İnterpolasyon

Gecikmeleri daha hassasiyetle hesaplayabilmek için donanımsal olarak artırılmayan fazladan çözünürlük sayısal olarak interpolasyon yaparak artırılmıştır.

### 3.1.6. Alıcılar arasında çiftler halinde gecikmelerin hesaplanması

Alıcılardan gelen sinyaller arasındaki gecikmeleri hesaplamak için, 2'li çiftler halinde gecikmeler hesaplanmaktadır. Frekans alanında çapraz korelasyon yaparak, gecikmeleri yön tahmininde bulunmak için kaydedilir.

### 3.1.7. Hesaplanan gecikmelerden açı dönüşümü

Hesaplanan çiftler arasındaki gecikme, bu gecikme örnek alanındadır yani kaç örnek kaydığını hesaplar. Örnek zamanından açı dönüşümü yapılarak çiftler arasındaki açı hesaplanır.

### 3.1.8. Yön tahmininde bulunma

Elde edilen açısal değerler, ses kaynağının ve yankılarının hangi açıda geldiğine dair çıktılar verir. İlk gelen sinyal bakış açısından gelen sinyaldir. Bu varsayım ile ilk gelen sinyalin kaynaktan geldiğini, gecikme ile gelen sinyallerin yankı olduğu kabul edilmiştir. Görüş hattında olan sinyal her zaman ilk ulaşacak, yankılanan bir sinyal daha uzun bir yol izleyeceğinden dolayı daha geç gelecektir.

### 3.2. Donanımlar

Çalışma sırasında kullanılan donanımların neden seçildiği ve hangi amaçla kullanıldığı aşağıda teknik detayları ile belirtilmiştir.

#### 3.2.1. Harici ses kartı

16-24 bit çözünürlüğü ayarlanabilir, 44.1 kHz örnekleme hızına sahip harici ses kartı. Bu ses kartının bize sağladığı eş zamanlı 4 kanaldan veri akışının sağlanması, alıcı gürültü seviyesinin düşük olması veri güvenirliliği sağlamaktadır.



Şekil 3.2. 44.1 kHz çözünürlüklü, eşzamanlı 4 kanal girişli harici ses kartı.

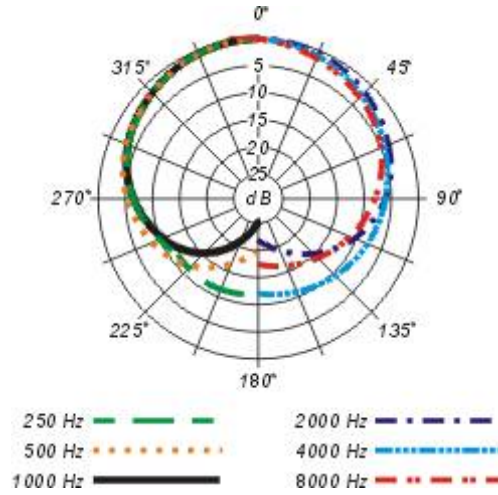
#### 3.2.2. Dinamik mikrofonlar

Üretilcek olan akustik işaretleri ses sinyallerine çevirmek için kullanacaktır. Projede Şekil 3.3.'de gösterilen kardiodid kutupsal modele sahip, 80 Hz – 14 kHz frekans aralığına duyarlı dinamik mikrofonlar.



Şekil 3.3. Dinamik mikrofonlar.

Kullanılan mikrofon tipinin frekans cevabı Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Mikrofonun frekans cevabı

### 3.2.3. Bluetooth hoparlör

Verici ses kaynağı olarak bluetooth hoparlör tercih edilmiştir. Üretilen ses işaretlerini istediğimiz frekans ve zaman aralığında üretme yeteneği vermektedir. Çıkış gücü maksimum 86 dB ve çıkış frekansları 80-20000 Hz aralığındadır.





**Şekil 3.5.** Bluetooth Hoparlör.

### 3.3. Kalibrasyon ve Referans Ölçümleri

Ölçme düzeneğinin doğruluğundan emin olmak için tam yansız oda içerisinde kalibrasyon ölçümleri yapılmış ve ardından çok sayıda ağacın (orman) etkisini incelemeye önce tek ağaçtan oluşan bir referans ölçümü yapılmıştır.

#### 3.3.1. Kalibrasyon ölçümleri

Kalibrasyon ölçümleri donanımsal sınırlarımızı belirlemek, elde edebileceğimiz maksimum çözünürlüğü belirlemek ve kurulacak olan ölçüm düzeneği için denemeler yapılmıştır.

Harici ses kartımızın 4 kanaldan ölçüm alabilmek için genlik çözünürlüğümüz veri yolunun kapasitesinden dolayı 24-bit yerine 16-bit olarak zorunlu olarak seçilmiştir. Örnekleme frekansımız 44.1 kHz'dir bu frekansımız örnekleme olarak ulaşabileceğimiz maksimum örnekleme frekansıdır. Alıcılarımızın algılayabileceği maksimum frekans 100 Hz -10 kHz aralığında sınırlı kalmaktadır. Mikrofonların konumlandırılması açısal çözünürlüğe doğrudan etki etmektedir.

$$\Delta_t \frac{C_{hava}}{f_{örnekleme}} = d_{cm/örnek} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'deki formülden  $d = 0.778$  cm olarak hesaplanmıştır. Mikrofonlar arasındaki mesafe 70cm olarak konumlandırılır ise yakın çözünürlüğümüz 1 dereceye kadar düşmektedir.

### 3.3.2. Yansımaz oda kalibrasyon ölçümleri

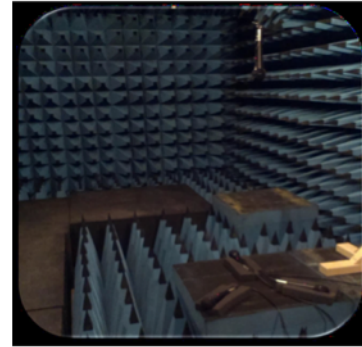
Daha önceki çalışmalarda EMUMAM bünyesindeki Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b’de görüldüğü gibi yansımaz odada yapılan kalibrasyon ölçümleri tekrarlanacak, yazılacak olan yazılımın ince ayarları yapılacaktır. Kalibrasyon aşaması ve saha aşamasındaki tüm ölçümlerde harici ses kartı ve dinamik mikrofonlar kullanılacaktır. Bu ekipmanlar halihazırda bulunmaktadır.

Yansımaz odada yapılan referans ve kalibrasyon ölçümlerinde cihaz 50cm aralıklar ile yerleştirilen mikrofonların hassasiyet oranı Şekil 3.11’de görüldüğü üzere maksimum ulaşılabildiğimiz hassasiyet 2 derecedir. Bu 2 derecelik hassasiyet bizim +-2 derecelik sistem hatamız olarak kabul edilmiştir. Bu hata oranı alıcımızın çözünürlüğünden ve mikrofonlar arasındaki konumlandırmadan kaynaklanmaktadır.

Alıcıların algılayabileceği frekans aralığı 100-10000 Hz olarak sınırlıdır. Kullanılan mikrofonların frekans tepkisi bu frekans aralığında sınırlandırmaktadır. Alıcımızın ve verici arasındaki algılanabilir maksimum uzaklığımız kaynağın şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Kullanmış olduğumuz hoparlör ile algılayabileceğimiz kaynak uzaklığımız 40 metre olarak belirlenmiştir.



(a)



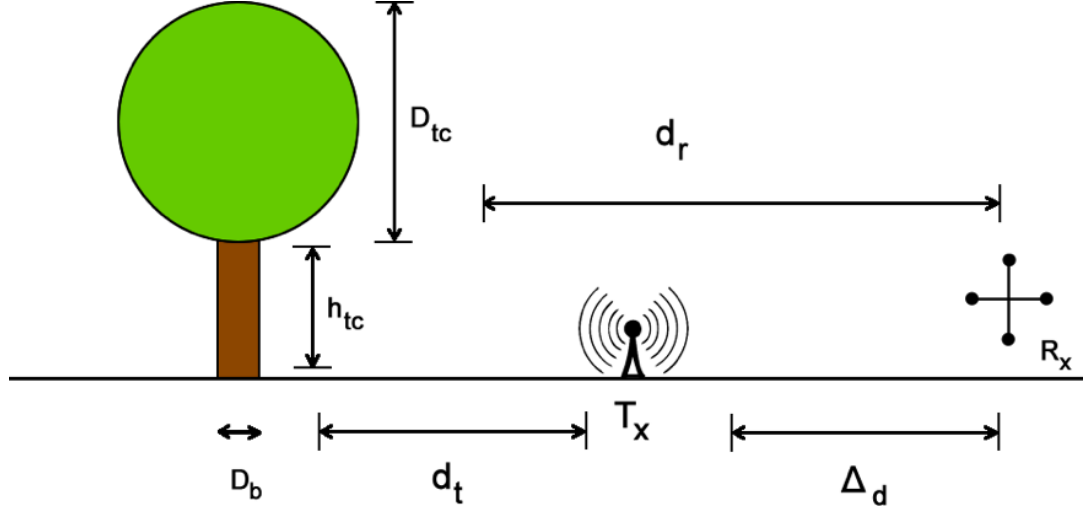
(b)

**Şekil 3.6.** a) 1-D karesel mikrofon diziliminin kalibrasyonu; b) 3-D Eşkenar üçgen mikrofon dizilimi.

### 3.4. Tek Ağaç Ölçümleri

Düz bir alanda ekili bulunan ve çevresi görece boş kabul edilebilecek tek bir ağacın ses dalgalarının yayılımı üzerine etkisi ölçülerek birden fazla ağacın bulunduğu ormanlık alanlar ve/veya yolların davranışı hakkında modeller üretilmeye çalışılacaktır. Şekil 3.7’de verilen düzenekte alıcı ile ağaç arasındaki mesafe olan  $d_r$  sabit tutulurken ses kaynağı ile ağaç arasındaki mesafe olan  $d_t$  değiştirilecektir. Bu değişimlerin yanı sıra ağacın gövde kalınlığı, gövde uzunluğu, gövde/dal oranı gibi özellikler de incelenmeye çalışılacaktır.

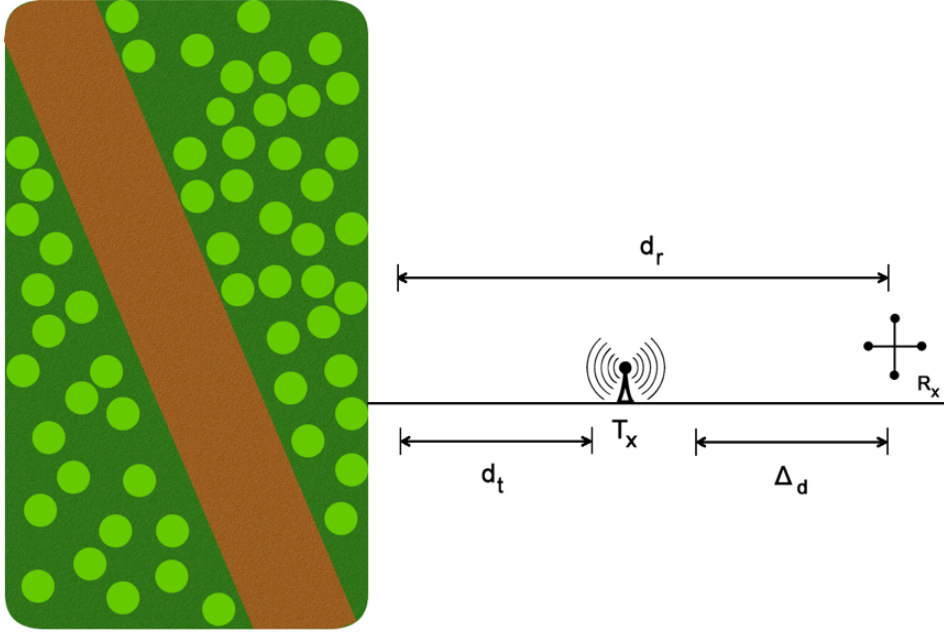
Şekil 3.7’de simgeler;  $d_r$  alıcının sınıra olan uzaklığı,  $R_x$  alıcı,  $T_x$  verici,  $d_t$  ormanlık sınırın vericiye olan uzaklığı,  $d_d$  vericinin alıcıya olan uzaklığı,  $D_b$  gövde kalınlığı,  $h_{tc}$  gövde uzunluğu,  $D_{tc}$  taç yüksekliğini simgelemektedir.



Şekil 3.7. Tek ağaç ölçüm düzeneği.

### 3.5. Ormanlık Alan Sınır Ölçümleri

Düz bir alana komşu olarak ekili bulunan ormanlık alanın ses dalgalarının yayılımı ve yön bulma üzerine etkisi ölçülecek ve model üretilerek minimum hata ile yön tayin edilmeye çalışılacaktır. Şekil 3.8’de verilen düzenekte alıcı ile ağaç arasındaki mesafe olan  $d_r$  sabit tutulurken ses kaynağı ile ormanlık alan arasındaki mesafe olan  $d_t$  değiştirilecektir. Böylece ormanlık bir bölgeye yakın ses kaynağının davranışı ve yön bulma başarısına etkisi incelenecektir. Şekil 3.8’de simgeler ;  $d_r$  alıcının sınıra olan uzaklığı,  $R_x$  alıcı,  $T_x$  verici,  $d_t$  ormanlık sınırın vericiye olan uzaklığı,  $d_d$  vericinin alıcıya olan uzaklığı simgelemektedir.

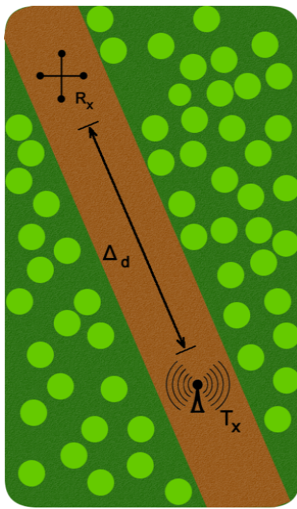


Şekil 3.8. Ormanlık alan sınırı ölçüm düzeneği.

### 3.6. Ormanlık alan içi yol ölçümleri

Ormanlık alanın içinden geçen bir yolda alıcılar sabit tutulurken, verici mesafesi değiştirilerek ses dalgalarının yolun kenarlarındaki ağaç sıralarından kaynaklı değişimleri gözlemlenmeye çalışılacaktır.

Bu ölçümün aynı zamanda otoyolların kenarına dikilen ağaçlara da benzer bir sonuç vermesi beklenmektedir. Şekil 3.9'da ilgili ölçüm düzeneğinin bir planı bulunmaktadır. Şekil 3.9'da simgeler; Rx alıcı, Tx verici,  $d_t$  verici ile alıcı arasındaki uzaklığı simgelemektedir.



Şekil 3.9. Ormanlık alan içi yol ölçüm düzeneği

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 400 Hz altında ormanlık alanın geri yansımalarının yok denebilecek oranda etki ettiği, 1 kHz'den daha yüksek frekanslarda ağaçların tepkilerinin arttığı görülmüştür. Tek ağaç ve orman sınırında yapılan ölçümlerde kaynağının yönünü bulma başarısı, yalıtımlı ortamda yapılan ölçümlere kıyasla azalma göstermektedir ancak bu azalma %10 civarında bir azalmadır. Orman içerisinde yapılan ölçümlerde başarının azaldığı gözlemlenmiştir.

##### 4.1. Tek Ağaç Ölçüm Sonuçları

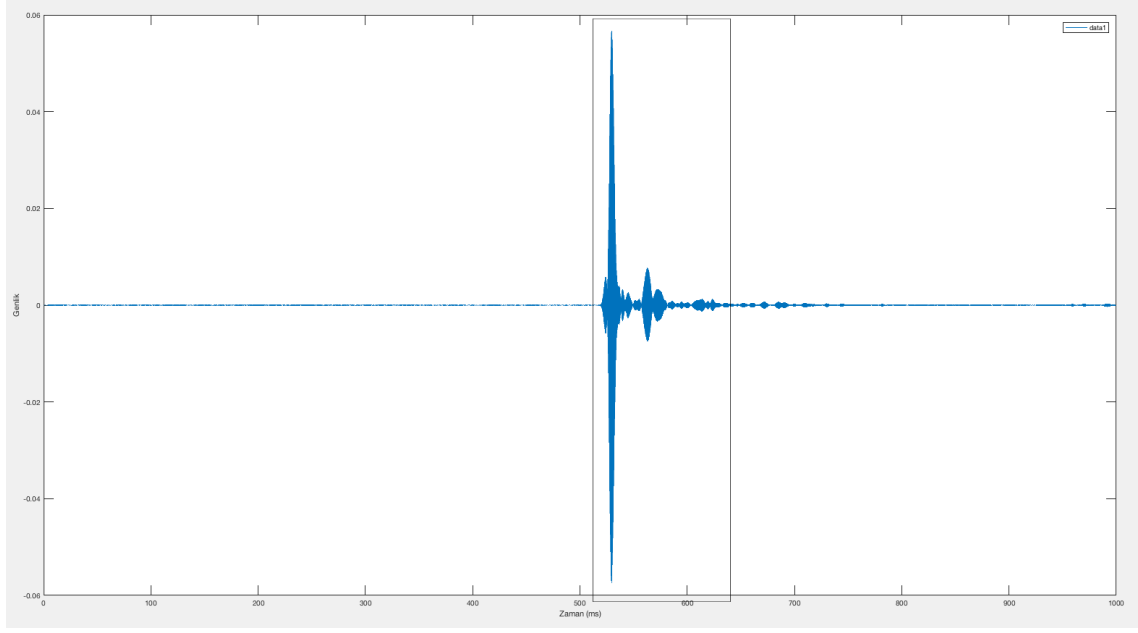
Dikey lineer dizi olarak konumlandırılan mikrofonlar, ağacın gövdesinden mi yoksa taç bölgesinden yankılanma yaptığı, sinyalin ne kadarı geri yansıdığı, yankılanma süresi ve yankı şiddeti hakkında referans bilgileri sağlamıştır. Elde edilen verilerde ağacın taç bölgesi önemli bir yer edinmektedir. Yaprak yoğunluğu, yaprak yapısı, yarı çapı ve yüksekliği etkilemektedir.

Gönderilen akustik işaretin ağaç gövdesine ve taç'a olan uzaklığa bağlı olarak işaretin yansıdığı noktaya bağlı olarak beklenen seyahat süreleri ve alıcılara ulaşan sinyallerin ulaşma zamanlarının yaratmış olduğu gecikmeden hesaplanan yön, sesin ağacın hangi bölgesinden yansıdığı hakkında bilgi vermektedir. Çizelge 4.1 Şekil 3.7'nin ölçülerini göstermektedir. Çizelge 4.1'in b düzeninde gönderilen bir sinyal gövdeden yasıyor ise alması gereken yol 9 metre, taç bölgesinden yansıyor ise taç yarıçapı yaklaşık 1.48 metre olduğu göz önünde bulundurulursa 7.5 metre yol kat etmesi gerekiyor. Yapılan tekrarlı ölçüm sonuçları ulaşan ilk baskın yankı taç bölgesinden gelmektedir.

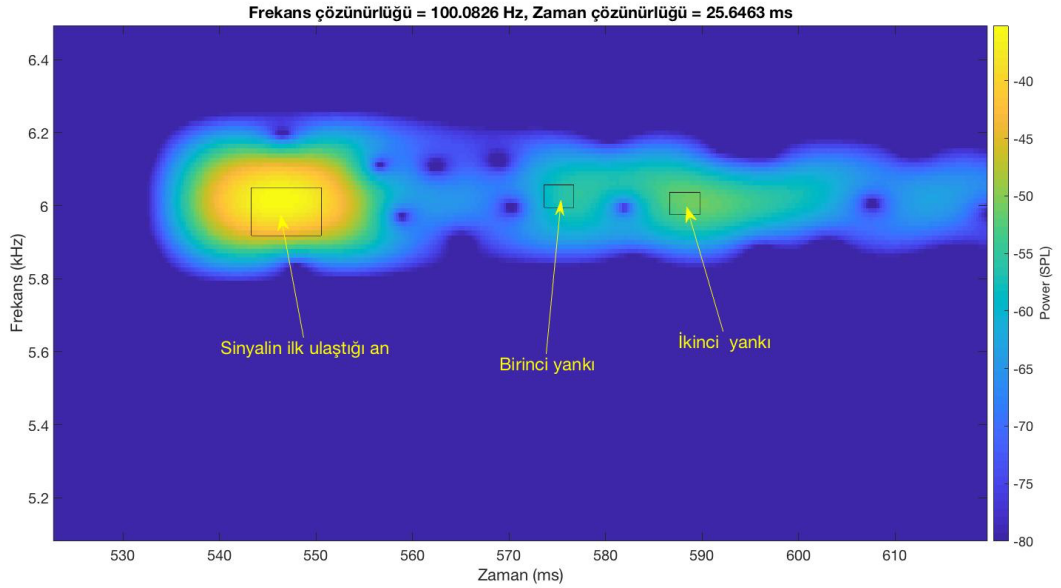
Gönderilen işaretin uzunluğu 10 ms olmasına karşı, taç bölgesinden gelen yankılar ortalama 20 ms sürmektedir. İşaret zamanda yayılmasına rağmen spektrum özelliğini korumaktadır.

**Çizelge 4.1.** Tek ağaç yankı işaretlerinin süresi ve şiddeti.

Düzenek numarası	Verici ile ağaç gövdesi arasındaki uzaklık(m)	Verici ile alıcı arasındaki uzaklık(m)	Ağaç gövdesi ile alıcı arasındaki uzaklık (m)	Ortalama yankılanma süresi (ms)	Ortalama yankı şiddeti dB(SPL)
a	7.5	1.5	9	18	-54
b	6	3	9	20	-52
c	3	3	6	22	-47



**Şekil 4.1.** Tek ağaç ölçümünü gelen sinyalin genlik-zaman grafiği



**Şekil 4.2.** Tek ağaç ölçümü gelen sinyalin frekans-zaman grafiği

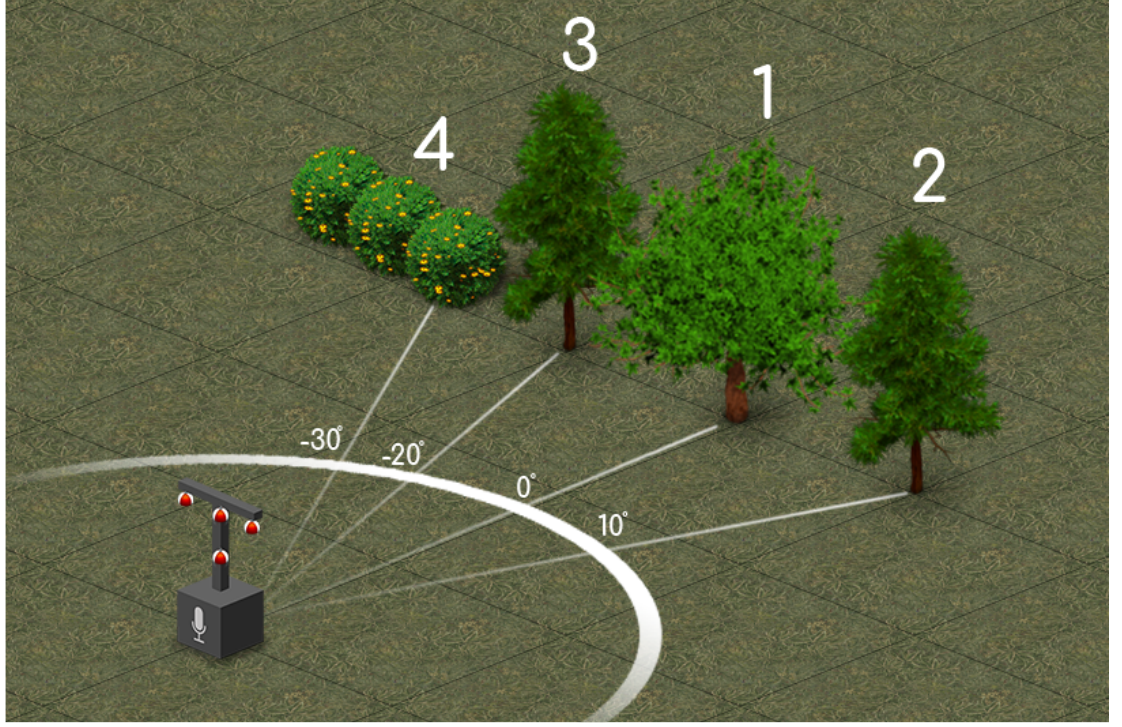
## 4.2. Sınır Ölçümleri

Ormanlık alan sınır ölçümlerinde ses yönünün tahmini şekil 4.4’de görüldüğü üzere 2 boyutta yatayda ve olmak üzere incelenmiştir. Yatayda bulunan ağaç dizilerinden gelen yankıları ayırt etmek için mevcut alıcı çözünürlüğü yatayda odaklanmıştır. Şekil 4.3’de 1 numaralı ağacın gövdesine dik konumlandırılmıştır. Şekil 4.4’de ağaçların alıcı dizisi ile açıları görülmektedir. Şekil 4.4 sınır ölçümlerinin yapıldığı sahanın gerçek fotoğrafı, Şekil 4.4 ise bu sahanın model görünümüdür.

Verici sınıra yaklaştığı zaman alıcıya gelen yankı işaretinin şiddeti artmaktadır. Sınır bölgesi ölçümlerinde baskın olarak birden fazla yankı kaynağı tespit edilmiştir. Bu noktalar Şekil 4.4’de 1,2,3 numaralı noktalardır. Yankıların ulaşma zamanına bağlı olarak hesaplanan gecikmeler ile saçılma noktaları tespit edilmiştir. Frekansın artması ile saçılma süreleri artmıştır. Alıcı uzaklığı sınırdan uzaklaştıkça yüksek frekans bölgesindeki saçılma miktarı alçak frekans bölgesindeki saçılmadan daha fazla azalmıştır. Gövdeden beklenen saçılma, algı eşiğinin altında kalmıştır. Ses kaynağının yönü ve yataydaki yankılarında başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Ağaçtan gelen yankıların uzaklığı artıkça gövde ile taç arasındaki açı değeri 2 derece olarak kabul edilen hata oranının içerisinde kaldığı için değerlendirmeye alınmamıştır. İlk ulaşan sinyalin vericiden geldiği bilinmektedir.



Şekil 4.3. Sınır ölçüm alanı.



Şekil 4.4. Sınır ölçüm modeli.

### 4.3. Ormanlık Alan Ölçümleri

Ölçüm alanı olarak çevresinde ağaçlar bulunan mümkün oldukça düzgün bir koridor seçilmiştir. Bölgede bulunan ağaçların taçları 3 metre üzeri, seyrek iğne yapraklıdır. Alıcı ve vericiler konumlandırılır iken çalı kümelerinden arınmış bölgeler seçilmiştir. Burada yoğun olarak bulunan ağaçlık alan içerisindeki ağaç gövdelerinin nasıl davrandığı belirlenmek istenmiş, gövdelerde beklenen saçılmaların yön tespitine etkileri gözlenmiştir.

Kaynak ile alıcı arasındaki ağaçlardan kaynaklanan saçılmalar, yön tahmininde %5 lik bir hata payı artışına sebep olmaktadır. Kaynağın sağında, solunda ve özellikle arkasında kalan ağaçlardan saçılan yankılar, aynı işarete sahip yeni kaynak gibi davranmasına neden olmaktadır.





**Şekil 4.5.** Orman içi ölçüm düzeneği

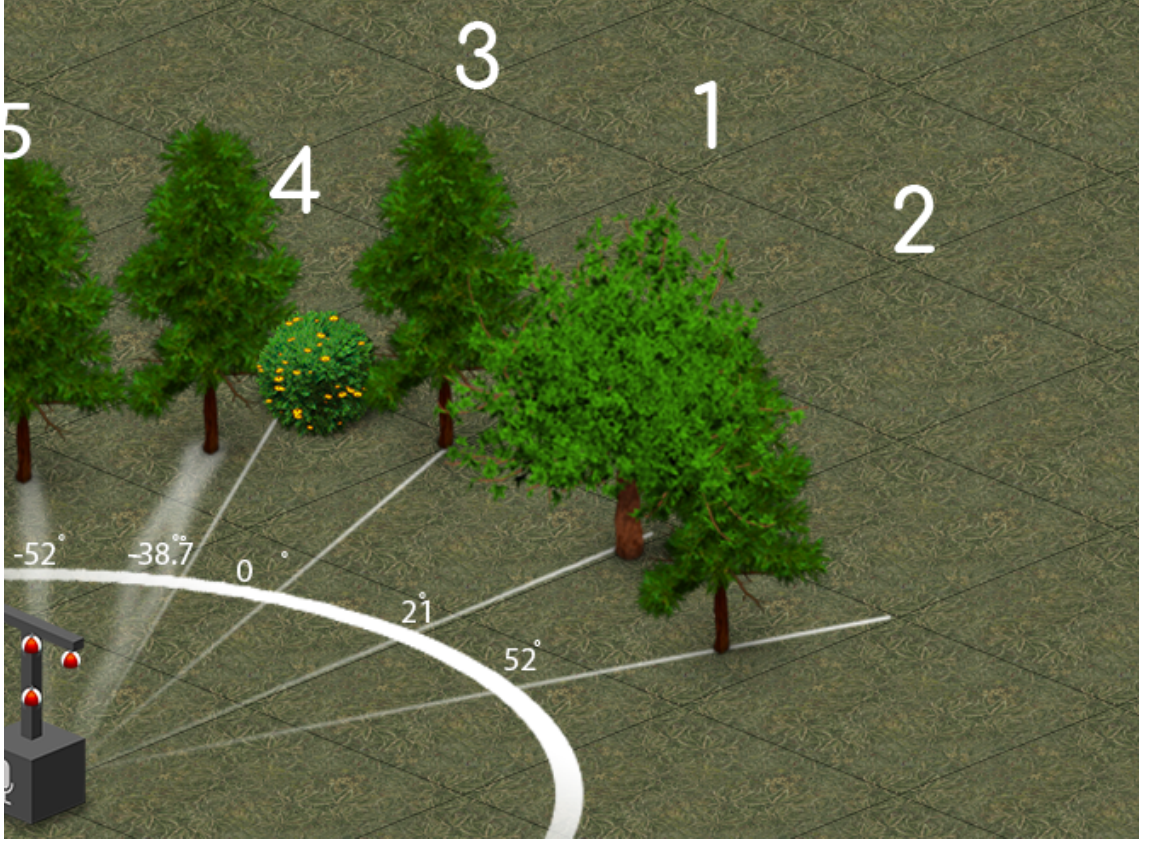
#### **4.4. Planlanmamış Bir Alanda Ölçüm**

Daha önceden planlanmış olan ölçümlerin aksine, planlanmamış bir alanda ses kaynağının yönünü tespit etmek için yeni bir alan seçilmiştir. Bu ölçümde kaynak alıcıdan uzaklığı 6 metre mesafede sabit tutulup, 9 derecelik adımlarla hareket ettirilmiştir.

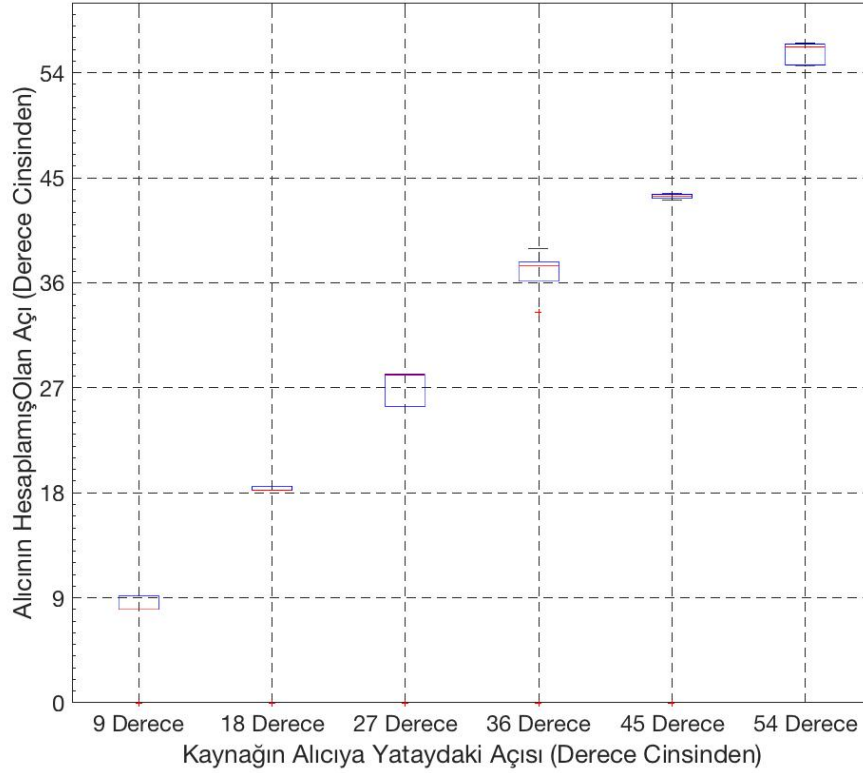
Şekil 4.6 sahanın gerçek fotoğrafı, Şekil 4.7 ise sahanın 3 boyutlu modelidir. Sahadaki tüm ağaçların alıcılar ile yaptığı açılar ve uzaklıkları ölçülmüştür.



**şekil 4.6.** 70 cm aralıklar ile yerleştirilmiş mikrofon dizini.



Şekil 4.7. Planlanmamış bir alanda ölçüm modeli



**Şekil 4.8.** Planlanmamış alanın ortalama ölçüm sonuçları.

#### 4.5. Zaman ve Faz Farkı Hesabı ile Yön ve Uzaklık Hesabı

Mevcut sistem akustik işaretin geliş yönünü hesaplamaktadır. Asıl kaynaktan gelen işaretler ve yankılanarak gelen işaretler ayrıştırılmaktadır. İlk ulaşan işaret her zaman görüş açısında olan asıl kaynaktan gelmektedir, dolayısıyla yankılanarak gelen işaretler daha geç gelecektir. Yankılanarak gelen işaretler ile asıl kabul edilen işaretlerin parmak izleri karşılaştırılarak yankının ilk işarete ait olduğu doğrulanır.

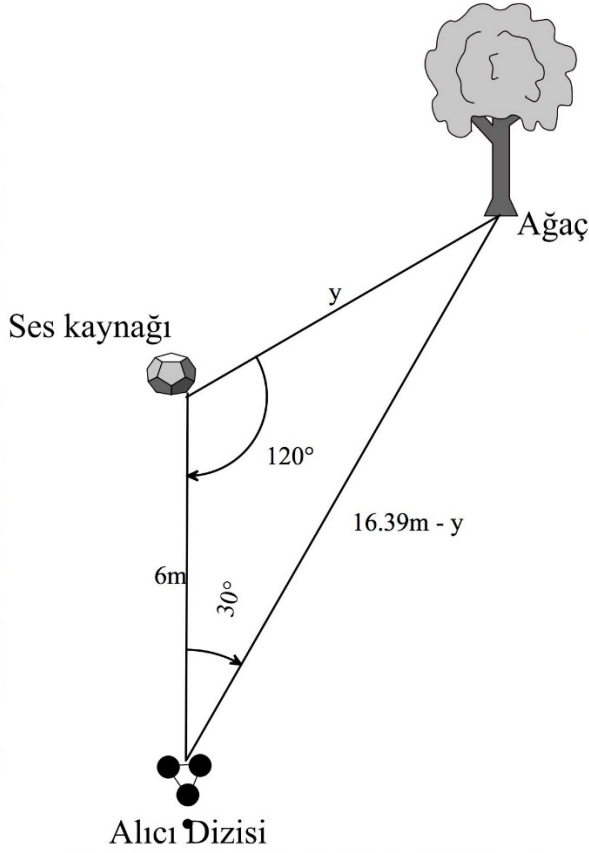
Sistemde asıl işaret kaynağının konumu bilindiği takdirde yankılanan işaretlerin de konumunu tahminde bulunma imkanı sağlar. Birbirlerine uzaklığı bilinen verici ve alıcı çifti ile ortamın 2 boyutlu engel haritasını çıkartma imkanı verir. Yankıların uzaklıklarını bulmak için kosinüs teoreminden faydalanılır.

Yankı sinyalinin kat etmiş olduğu yol şu şekilde hesaplanır;

- 1- Alıcıya ulaşan ilk sinyalin geliş zamanı tutulur.
- 2- Gelen ikinci sinyal yankı olup olmadığı parmak izine bakılarak karşılaştırılır.
- 3- İkinci işaret yankının ise kat ettiği yol iki sinyal arasındaki zaman farkı ile kat etmiş olduğu yol hesaplanır.

$$\Delta_m = C_{hava} \times \Delta_T \quad (4.1)$$

Ölçüm düzeneğinde alıcı her zaman 6 m uzaklıkta ve görüş açısında bulunmaktadır. Şekil 4.9 'de örnek bir ses ve yankı modeli gösterilmiştir.



**Şekil 4.9.** Örnek konum tespiti.

Yankılanarak gelen işaretin geliş yönü ve kat etmiş olduğu yol hesaplanarak bulunmaktadır. Şekil 4.9'da yankı işaretinin kat etmiş olduğu yol 4.1 denklemine göre 16.39 metredir. Yankı kaynağının uzaklığını ( $16.39 \text{ m} - y$ ) bulmak için asıl işaretle yankı kaynağı arasındaki kat edilmiş olan yol ( $y$ ) bulunmalıdır. Asıl işaretin yankı kaynağına kadar kat etmiş olduğu yolu bulmak için kosinüs teoreminden yararlanılır.

Kosinüs teoremi herhangi bir üçgen üzerinde iki kenarı ve aralarındaki açı biliniyor ise bilinmeyen kenarı bulmak amacıyla kullanılan formüldür.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad (4.2)$$

Şekil 4.9 ' da yankı kaynağının uzaklığı kosinüs teoremine göre hesaplanır ise;

$$a = y, b = 6, c = 16.39 - y, \alpha = 30^\circ$$

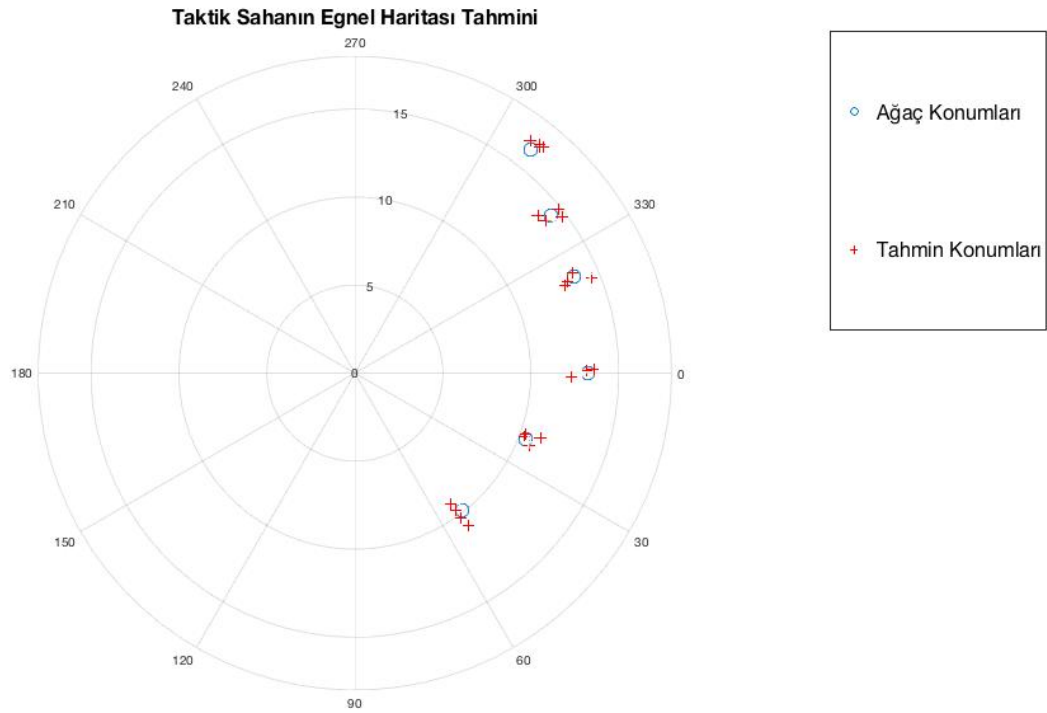
$$y^2 = 6^2 + (16.39 - y)^2 - 2 \times 6 \times (16.39 - y) \cos 30 \quad (4.3)$$

$$y = 6$$

Yankı kaynağının alıcı dizisine uzaklığı 10.39 m olarak bulunur.

#### 4.6. 2-D Boyutlu Engel Haritasının Çıkartılması

Bir yankı için elde edilen yön ve uzaklık bilgilerinden, taktik sahada yapılan ölçümler ile sahanın 2-D engel haritası çıkartılmıştır. Şekil.4.7 deki sahanın ölçüm sonuçları.



**Şekil 4.10.** Taktik sahanın çıkartılmış engel haritası

Şekil 4.8 'de aynı sahanın hesaplanan açı değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.10 ise hesaplanan açı ve uzaklıklar göstermektedir. Uzaklık tahminleri +-2 metre sapmalar göstermiştir.

#### 4.7. Sünme Bilgisini Kullanarak Yankı Kaynağının Sınıflandırılması

Ölçüm düzeneğinde asıl işaret olarak kullanılan işaretin uzunluğu 10 ms olarak belirlenmiştir. Uzunluğu belirlemedeki parametreler sistemsel hata ve çözünürlükten

dolayı, yankılarla zaman ekseninde ayrışması ve işaretin tanınırlığı için en uygun uzunluk 10 ms olarak belirlenmiştir.

Gönderilen 10 ms işaretin yankısının frekans-zaman ekseninde incelendiğinde frekansın zamanda yayıldığı ve 16 ms'ye kadar uzadığı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu yayılma incelendiğinde, düz kabul edilebilecek yüzeylerde yankı uzunluğu 10 -11 ms'ler arasında iken, ağaç taçlarından ve dallardan yansımalar bu süreyi 16 ms'lere kadar uzatmaktadır. Şekil 4.2. Tek ağaç ölçümü gelen sinyalin frekans-zaman grafiği'de yankı kaynağının şekline göre yansıyan frekansların genliklerinde farklılıklar görülmüş ve yankı kaynaklarının farklı frekanslara tepki vermiş olduğu görülmüştür.

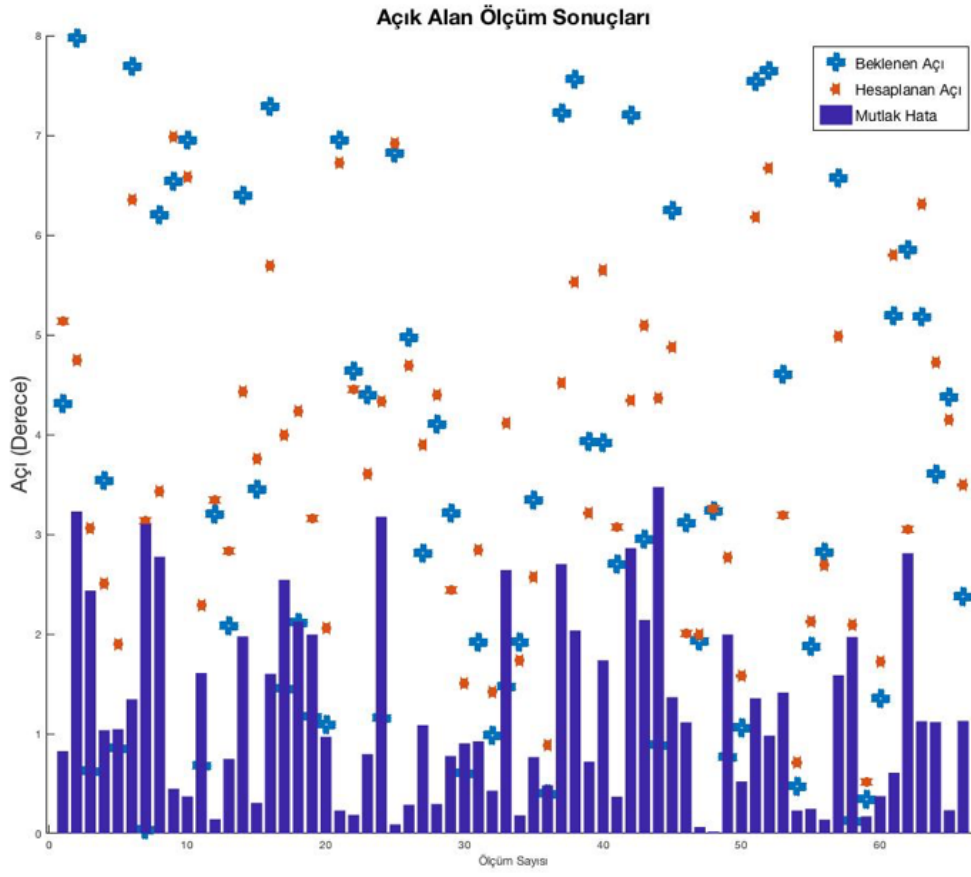
Bunun işaretin yansıyan nesne üzerindeki kırınımları, saçılmaları ve yüzeye bağlı olarak gecikmeli saçılmalar olduğu düşünülmektedir. Buradan hareket ile engel haritasında her hangi bir konumda bulunan engelin sınıflandırılması ( çalı, iğne yapraklı ağaç, yüksek gövdeli ağaç, geniş yapraklı ağaç, kaya, duvar veya metal vb.) için ise işaretin zaman alanındaki sünme bilgisinden yararlanılmıştır.

Farklı ortamlar içerisinde yapılan ölçümlerden kayda değer veriler toplanmış, sistem performansı test edilmiş ve farklı tür dizilerin ölçüm performansları kıyaslanmıştır. Çalışmada 4 kademeli bulgular elde edilmiştir. İlk aşamada karesel ve eşkenar üçgen dizilimine sahip mikrofon dizilerinin performansını yalıtımlı odada test edip kalibrasyonları yapılmıştır. İkinci aşamada tek bir ağaç etrafında ses dalgalarının davranışlarının incelendiği yansıma, kırılma, saçılma ve soğrulma davranışları incelenmiş, ses kaynağının yönünü tespit edilmeye çalışılmıştır. Üçüncü aşamasında çoğunluğun çam ağaçlarından oluşan orman sınırındaki ikinci aşamadaki test koşulları tekrarlanmıştır. Dördüncü ve son aşamasında test ortamını orman içerisinde bulunan bir yol içerisinde yüksek yankı ortamında ses kaynağının yönü bulunmaya çalışılmıştır.

Yapılan ölçümlerde bir nokta için hesaplanan gecikme grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.11'de görüleceği üzere aynı nokta üzerinde hesaplanan gecikmeler eksi 7 eksi 9 örnek aralığında değişim göstermiştir. Bir örnek kayması 1.4 dereceye tekabül etmektedir buda bize +/- 2 derece hata oranı vermektedir. Hesaplanan bu gecikme hatası gecikmenin sınır değerinde kalması ve çözünürlüğün düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Genel sistemin başarısı %86.80 olarak hesaplanmıştır. Başarı yüzdelerindeki bu değişim ortamların heterojen olması, çevreden gelen akustik işaretlere de tepki vermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farklı ölçüm alanlarında yapılan ölçümlerin ortalama başarı yüzdesi %86.80 normalize karesel hata oranı 0.1203 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.11. mavi noktalar beklenen açıyı, turuncu \* noktaları hesaplanan ve sarı mavi çubuklar mutlak hatayı göstermektedir. Ölçüm noktaları ve sayıları heterojen bir dağılım göstermektedir. Bu noktalar ve sayılar seçilir iken rastgele üretim algoritması kullanılmıştır.



**Şekil 4.111.** Açık alan ölçüm sonuçları



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada akustik sinyaller ile kurulan konum tespit sistemlerinin genel işleyişi ve bu işleyiş üzerine ormanlık alanların etkisi incelenmiştir. Yapılan araştırmalar, ölçümler ve hesaplamalar sonucunda ormanlık alanlara yaklaşmanın, ormanlık alan içinden geçmenin etkileri incelenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda, yansımaz odada yapılan referans ölçümlerinde elde edilen %93 lük başarı oranı açık alan ölçümlerinde %86.80 a düştüğü görülmüştür. Yapılan ölçüm alanlarının heterojen olması ve bağımsız gürültü kaynaklarının etkileri gözükmemektedir.

Taktik saha üzerinde yapılan ölçüm sonuçları, sahadaki engellerin açıları ve uzaklıklarını tespit ederek sahanın 2-D boyutlu haritası çıkartılmıştır. Çıkartılan engel haritasının çözünürlüğü sistemin çözünürlüğü ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar ışığında ormanlık alanların, ses dalgalarının yayılımına etki ettiği ve bu etkinin yön bulma başarısını düşürdüğü açıkça görülmüştür. Ayrıca bu sonuç, gürültülü ortamların etrafında yapılacak ağaçlandırma çalışmalarının gürültü üzerine olumlu etki edebileceğini de göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Agha, Apoorv, et al. "Noisy Vehicle Surveillance Camera: A System to Deter Noisy Vehicle in Smart City." *Applied Acoustics*, vol. 117, 2017, pp. 236–45, doi:10.1016/j.apacoust.2016.05.025.
- Agounad, Said, et al. "Investigation into the Bistatic Evolution of the Acoustic Scattering from a Cylindrical Shell Using Time-Frequency Analysis." *Journal of Sound and Vibration*, vol. 412, 2018, pp. 148–65, doi:10.1016/j.jsv.2017.09.036.
- Aktas, Metin, et al. "Acoustic Direction Finding in Highly Reverberant Environment with Single Acoustic Vector Sensor." *2015 23rd European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2015*, 2015, pp. 2301–05, doi:10.1109/EUSIPCO.2015.7362795.
- Bucur, Voichita. *URBAN FOREST ACOUSTICS*. no. Bucur 2005, pp. 1–7.
- Ding, L., et al. *Measurement Methodology for the Acoustic Scattering of a Single Tree*. no. August, 2010, pp. 1–4.
- Fan, Jing, et al. "Localization Estimation of Sound Source by Microphones Array." *Procedia Engineering*, vol. 7, 2010, pp. 312–17, doi:10.1016/j.proeng.2010.11.050.
- Ghamdan, Lama, et al. "Position Estimation of Binaural Sound Source in Reverberant Environments." *Egyptian Informatics Journal*, vol. 18, no. 2, 2017, pp. 87–93, doi:10.1016/j.eij.2016.05.002.
- Gutiérrez, Salvador, and Salvador García. "Landmark-Based Music Recognition System Optimisation Using Genetic Algorithms." *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 24, 2016, pp. 16905–22, doi:10.1007/s11042-015-2963-0.
- Hashmi, Muhammad Abdur Rehman, and Rana Hammad Raza. "Landmark Based Audio Fingerprinting for Naval Vessels." *Proceedings - 14th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2016*, 2017, pp. 297–302, doi:10.1109/FIT.2016.061.
- Kang, Haeyong, and Jungsuk Choi. "Sound Source Localization Using Window Function Filtering and Weighted Cumulative Histogram Method." *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, vol. 14, no. PART 1, 2012, pp. 1808–13, doi:10.3182/20120523-3-RO-2023.00253.
- Merimaa, Juha. "Applications of a 3-D Microphone Array." *AES Convention*: 112, 2002, p. 5501.
- Pahlavan, Lotfollah, et al. "Interaction of Ultrasonic Waves with Partially-Closed Cracks in Concrete Structures." *Construction and Building Materials*, vol. 167, 2018, pp. 899–906, doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.098.
- Pavlidis, Despoina, et al. *Real-Time Multiple Sound Source Localization and Counting Using a Circular Microphone Array*. Vol. 21, no. October 2016,

2013, pp. 2193–206.

Tarrero, A. I., et al. “Sound Propagation in Forests: A Comparison of Experimental Results and Values Predicted by the Nord 2000 Model.” *Applied Acoustics*, vol. 69, no. 7, 2008, pp. 662–71, doi:10.1016/j.apacoust.2007.01.007.

Yang, Hong-seok, et al. “Sound Dispersion and Reverberation by a Single Tree.” *Internoise*, 2011, pp. 1–10.

Yang, Hong-Seok, et al. “Quantifying Scattered Sound Energy from a Single Tree by Means of Reverberation Time.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 134, no. 1, 2013, pp. 264–74, doi:10.1121/1.4808175.

## ÖZGEÇMİŞ

**NECDET YİĞİT EROĞLU**  
**necdetyigiteroglu@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2018	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2009-2015	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Yazılım Geliştiricisi 2016-Devam Ediyor	Dream Harvesters Akdeniz Üniversitesi Antalya Teknokent Uluğbey Ar-Ge Binası, Antalya
Yazılım Geliştiricisi 2015-2016	Imaginite Oyun Stüdyosu Çukurova Üniversitesi Teknokent, Adana