

**MİKROFON DİZİLERİNDE SES KAYNAĞININ YERİNİN  
GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK  
BULUNMASI**

**Ekrem ÇONTAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2007  
ANKARA**

Ekrem ÇONTAR tarafından hazırlanan MİKROFON DİZİLERİNDE SES KAYNAĞININ YERİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK BULUNMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğı ile Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. M. Sezai DİNÇER

Üye : Doç.Dr. M. Ali AKCAYOL

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE

Üye :

Üye :

Tarih : 26/06/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ekrem ÇONTAR

**MİKROFON DİZİLERİNDE SES KAYNAĞININ YERİNİN GENETİK  
ALGORİTMA KULLANILARAK BULUNMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Ekrem ÇONTAR**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2007**

**ÖZET**

Ses algılama ve tanıma sistemlerinde karşılaşılan en önemli problem, algılayıcıya gelen sesin kalitesinin düşmesidir. Bir çok kullanıcı mikrofonu bilgisayarın üstüne, toplantı masasının ortasına veya duvara monte etmektedir. Bu durumlarda mikrofona ulaşan sesin kalitesinde ortam şartlarına göre değişen oranlarda kayıp olmaktadır. Ağza yakın olarak kullanılan mikrofonlarda daha kaliteli ses elde edilmesine rağmen, bir çok durumda mikrofonun bu şekilde kullanılması uygulanabilir değildir.

Son zamanlarda yapılan araştırma ve uygulamalarda, tek bir mikrofon yerine birden fazla mikrofon (mikrofon dizileri) kullanılarak, alınan ses kalitesinin artırılması konuları gündemdedir. Bir mikrofon dizisi, birden fazla mikrofonun geometrik olarak farklı noktalara yerleştirilmesi ile elde edilen mikrofon grubudur. Farklı mikrofonlardan alınan ses sinyallerine uygun gecikme oranları uygulanarak üst üste toplanması ile daha kaliteli bir ses sinyali elde etmek mümkündür. Bu işlem, mikrofon dizileri ile demetleme olarak adlandırılmaktadır.

Mikrofon dizileri ile demetleme işlemi yapabilmek için, ses kaynağının yerinin (uzaysal koordinatlarının) biliniyor olması gerekmektedir. Ancak, birden fazla ses kaynağının olduğu yerde, her hangi bir anda asıl sesin hangi yönden

geleceğinin önceden bilinmesi mümkün değildir. Bu tez çalışmasında, mikrofon dizilerine gelen sesin kaynağının uzaysal konumlarının otomatik olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Mikrofon dizileri ile, muhtemel ses kaynaklarının yönlerinde demetleme yapılmış, en güçlü çıkış sinyalinin elde edildiği noktanın asıl ses kaynağının yeri olduğu kabul edilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak, işaret işleme uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiş olmasından dolayı genetik algoritma kullanılmıştır.

**Bilim Kodu** : 902.1.067  
**Anahtar Kelimeler** : Mikrofon dizileri, demetleme, genetik algoritma, ses kaynağının yerinin bulunması  
**Sayfa Adedi** : 76  
**Tez Yöneticisi** : Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE

**SOUND SOURCE LOCALIZATION IN MICROPHONE ARRAYS USING  
GENETIC ALGORITHM**

**(M.Sc. Thesis)**

**Ekrem ÇONTAR**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2007**

**ABSTRACT**

The most significant problem for speech detection and recognition systems in such environments with a lot of noise and reverberation is the degradation of signal arriving at the sensors, that is microphones. Most people place the microphone over the computer monitor, on the meeting table or on the wall. In these situations, the quality of the sound degrades in varying amounts depending on the environmental conditions. While using a close-talking microphone can be a solution to the problem, for most situations this is not practical or even not possible.

Instead of a single microphone, using a microphone array to increase the power and quality of desired signal is quite popular in recent researches and applications in sound processing. A microphone array is a set of microphones placed geometrically at different locations and operating simultaneously. By delaying the signal received at each sensor (microphone) by certain amounts and summing them all together, it is possible to obtain a more powerful signal. This is called delay-and-sum beamforming using microphone arrays.

In order to perform beamforming using microphone arrays, it is crucial to know the location of the sound source. But, in cases where there is more than one possible sound source, it is impossible to know the direction of the sound

source in advance. In this study, it is aimed to determine the position of the sound source using real time methods. By performing delay-and-sum beamforming at possible source locations, it is assumed that the direction which results in with the highest signal to noise ratio (SNR) is considered to be the desired sound source location. Due to its well-known reputation in signal processing, Genetic Algorithm is used as optimization technique.

**Science Code** : 902.1.067  
**Key Words** : Microphone array, beamforming, genetic algorithm, sound source localization  
**Page Mumber** : 76  
**Adviser** : Assist.Prof.Dr. Hasan Şakir BİLGE

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve bu tez çalışması kapsamında bana her türlü bilimsel desteği sağlayan danışmanım Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE'ye, ayrıca Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç.Dr. Şeref SAĞIROĞLU ile Bölüm Başkan Yardımcısı Doç.Dr. M. Ali AKCAYOL'a ve yüksek lisans eğitimi süresince beni sürekli olarak destekleyen değerli eşim Safiye ÇONTAR'a teşekkür ederim.

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 06/2005-37 numaralı "Mobil Cihazlar İçin Akıllı Mikrofon" adlı proje kapsamında desteklenmiştir

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1. Mikrofon .....	4
2.2. Mikrofon Çeşitleri.....	4
2.2.1. Dinamik mikrofonlar .....	4
2.2.2. Kapasitif mikrofonlar.....	5
2.2.3. Şeritli mikrofonlar.....	5
2.2.4. Piezoelektrik kristalli mikrofonlar .....	6
2.2.5. Elektret mikrofonlar.....	7
2.2.6. Karbon tozlu mikrofonlar .....	8
2.3. Mikrofon Dizileri .....	8
2.4. Mikrofon Dizileri ile Demetleme.....	10
2.5. Mikrofon Dizilerinin Kullanım Alanları.....	15
2.5.1. Ses kaynağının yerinin bulunması .....	15
2.5.2. Ses tanıma sistemleri.....	15

**Sayfa**

2.5.3. Konuşmacının otomatik olarak takip edilmesi .....	15
2.5.4. İşitme cihazlarının başarımının artırılması .....	15
2.5.5. Eller serbest telefon görüşmesi .....	16
3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....	18
4. GENETİK ALGORİTMA .....	32
4.1. Genel Bilgiler .....	32
4.2. Genetik Kodlama .....	34
4.3. Başlangıç Çözümlerinin Oluşturulması .....	35
4.4. Uygunluk Fonksiyonu .....	36
4.5. Çaprazlama .....	36
4.5.1. Seçim .....	37
4.5.2. Yeniden üretim .....	39
4.5.3. Seçkinlik (Elitizm) .....	41
4.6. Mutasyon .....	41
4.7. Onarım .....	43
5. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM .....	44
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	49
6.1. 15 Mikrofon ile Gerçekleştirilen Uygulamalar .....	49
6.1.1. Mikrofon dizileri .....	49
6.1.2. Genetik işlemler .....	51
6.1.3. Çeşitli mikrofon kombinasyonları ile yapılan uygulamalar .....	54
6.2. 1020 Mikrofon ile Gerçekleştirilen Deneyler .....	63

**Sayfa**

6.2.1. Genetik işlemler .....	64
6.2.2. Mikrofon kombinasyonu ile gerçekleştirilen uygulamalar .....	65
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	70
KAYNAKLAR .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	76

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Mikrofon sayısı ile ses tanıma başarısı ve SGO değişim tablosu .....	21
Çizelge 4.1. Bireylerin uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları.....	38

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dinamik mikrofon .....	4
Şekil 2.2. Kapasitif mikrofon .....	5
Şekil 2.3. Şeritli mikrofon.....	6
Şekil 2.4. Kristal mikrofon.....	6
Şekil 2.5. Elektret mikrofon kesiti .....	7
Şekil 2.6. Karbon tozlu mikrofon.....	8
Şekil 2.7. NIST tarafından geliştirilen doğrusal mikrofon dizisi kartı.....	9
Şekil 2.8. 1020 mikrofonluk düzlemsel mikrofon dizisi.....	9
Şekil 2.9. Üç boyutlu mikrofon dizisi .....	10
Şekil 2.10. Mikrofon dizisi ile işitme cihazı tasarımı .....	10
Şekil 2.11. Sinyalin demetleyici ile işlenerek zaman farkının giderilmesi .....	11
Şekil 2.12. Dar bantlı demetleyici .....	12
Şekil 2.13. Geniş bantlı demetleyici .....	13
Şekil 2.14. Griffiths-Jim demetleyicisinin blok şeması .....	14
Şekil 2.15. Griffiths-Jim demetleyicisinin yönelme örüntüsü .....	14
Şekil 3.1. Çoklu ses yönü tahmininde kullanılan sistemin blok şeması .....	18
Şekil 3.2. Ses kaynağı tespit algoritmasının evrimi .....	19
Şekil 3.3. Mikrofon sayısı ile SGO değişim grafiği .....	20
Şekil 3.4. 1020 mikrofon ile yapılan deneyler ile elde edilen sonuçlar .....	21
Şekil 3.5. Mikrofon dizisinin işitme cihazında kullanımı .....	22
Şekil 3.6. İşitme cihazlarında mikrofon dizisi kullanılması ile elde edilen kelime tanırma başarı grafiği .....	23
Şekil 3.7. 2 mikrofonlu deney düzeneği .....	24

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.8. İki farklı mikrofondan alınan ses sinyalinin gecikme uygulanmaksızın toplanması ile elde edilen çıkış sinyali .....	25
Şekil 3.9. İki farklı mikrofondan alınan ses sinyalinin uygun gecikme uygulanarak toplanması ile elde edilen çıkış sinyali .....	25
Şekil 3.10. Mikrofonların hesaplanan ideal yerleşimi .....	27
Şekil 3.11. Sekiz elemanlı mikrofon dizisi için hesaplanan geliş açıları .....	28
Şekil 3.12. Tek kullanıcı için 5, 10 ve 20 antenle yapılan benzetim.....	29
Şekil 3.13. Kaynak sayısı dört olduğunda 20, 50 ve 100 anten sayılarıyla yapılan modelleme sonuçları .....	30
Şekil 3.14. Geleneksel ve uyarlamalı huzme şekillendirme .....	31
Şekil 4.1. Genetik algoritma akış şeması .....	33
Şekil 4.2. Olasılıkların rulet tekerleği ile gösterimi .....	38
Şekil 5.1. Geciktir ve topla yöntemi ile demetleme yapılması .....	44
Şekil 5.2. 15 mikrofon için referans sinyali .....	46
Şekil 6.1. 15 adet mikrofonun yerleşim düzeni.....	50
Şekil 6.2. Değişken mutasyon genliği uygulaması .....	53
Şekil 6.3. Mutasyon genliği değişim grafiği .....	53
Şekil 6.4. Giriş sinyaline süzgeç uygulanmadan önceki hali .....	54
Şekil 6.5. Giriş sinyalinin süzgeçleme işleminden sonraki görünümü .....	55
Şekil 6.6. 15 mikrofon kullanılması ile elde edilen sonuç .....	56
Şekil 6.7. 7 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç .....	58
Şekil 6.8. 3 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç .....	60
Şekil 6.9. Mikrofonlar arası gecikmenin çapraz ilinti yöntemiyle hesaplanması .....	61
Şekil 6.10. Çapraz ilinti yöntemi ile hesaplanan gecikme miktarları .....	62
Şekil 6.11. 1020 adet mikrofondan oluşan mikrofon dizisi .....	63

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.12. Referans sinyali.....	65
Şekil 6.13. Giriş sinyaline süzgeç uygulanmadan önceki durumu.....	66
Şekil 6.14. Giriş sinyaline süzgeç uygulama işleminden sonraki görünümü.....	67
Şekil 6.15. Başlangıç çözümlerinin dağılımı .....	67
Şekil 6.16. Çözümlerin 30 iterasyon sonraki dağılımı.....	68
Şekil 6.17. İterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi .....	68
Şekil 6.18. Uygunluk fonksiyonunun SGO değeri alınması ile elde edilen sonuç ....	69
Şekil 6.19. Uygunluk fonksiyonu olarak ortalama değer seçilmesi ile elde edilen sonuç .....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

<b>m</b>	Metre
<b>cm</b>	Santimetre
<b>Hz</b>	Hertz
<b>KHz</b>	Kilo Hertz

### Kısaltmalar

### Açıklama

<b>SGO</b>	Sinyal Gürültü Oranı
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>DC</b>	Direct Current
<b>DSBF</b>	Delay and Sum Beamformer
<b>MUSIC</b>	Multiple Signal Classification (Çoklu Sinyal Sınıflandırma)
<b>ESPRIT</b>	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
<b>EBOY</b>	En Büyük Olabilirlik Yöntemi
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>dB</b>	Desibel

## 1. GİRİŞ

Ses algılama, ses kayıt ve ses tanıma sistemlerinde yaşanan en büyük problem, ortam şartlarından etkilenen ses sinyalindeki bozulmadır. Ses kaynağına çok yakın olan algılayıcılarda (mikrofonlarda) bu problem nispeten daha azdır. Ancak, yakın mikrofon kullanılmasının uygun olmadığı veya istenmediği birçok durum mevcuttur. Örneğin; bir toplantı salonunda her bir konuşmacı için farklı bir mikrofon bulundurulması pratik değildir. Bunun yerine, toplantı masasının ortasına yerleştirilmiş veya tavana asılmış bir mikrofon kullanılmaktadır. Toplantı sırasında bazen aynı anda konuşan kişilerin veya karşılıklı konuşmaların olduğu durumlar da mevcuttur. Aracı ile hareket eden bir sürücünün, eller serbest cep telefonu ile görüşmesi için ağız mikrofonu kullanması uygun değildir. Duyma problemi olan bir kişinin, sesleri daha iyi duyabilmesi için konuşmacıdan yakın mikrofon kullanmasını istemesi ise pratik değildir. Bu ve benzeri durumlarda, ses kaynağından yayılan sesin mikrofona ulaşmaya kadar kalitesinde ortama göre değişen miktarlarda bozulma olmaktadır.

Ses kaynağından gelen sesin daha güçlü alınabilmesi amacıyla, birden fazla mikrofondan oluşan mikrofon dizileri kullanılmaktadır. Dizideki her bir mikrofondan alınan sinyallerin toplanması ile, tek bir mikrofondan alınan sinyalden daha güçlü bir sinyal elde edilmesi amaçlanmaktadır. Toplanarak elde edilen ses sinyalinin güçlü olabilmesi için, mikrofonlardan alınan seslere uygun gecikme miktarları uygulanmaktadır. Gecikme uygulanması fikri, sesin ortamda yayılması sırasında farklı mikrofonlara farklı zamanlarda ulaşması teorisine dayanmaktadır. Her bir mikrofon için uygulanacak gecikme miktarı, bu mikrofonun ses kaynağına olan uzaklığı ve mikrofonların biri birine göre konumlarına göre belirlenir. Uygun gecikmeler uygulandığında, elde edilen toplam ses sinyalinin, en az bir mikrofondan alınan sinyal kadar güçlü olmak üzere, tek tek mikrofonlardan alınan ses sinyallerinden daha kaliteli olacağı beklenmektedir.

Mikrofonlara uygulanacak gecikme miktarının hesaplanabilmesi için öncelikle ses kaynağının yerinin bilinmesi gereklidir. Ancak, toplantı salonu gibi ortamlarda hangi

zaman diliminde hangi konuşmacının konuşacağı önceden bilinemeyeceği için, bu bilginin önceden elde edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, gerçek zamanlı olarak ses kaynağının yerinin tespit edilmesi gereklidir.

Mikrofon dizilerinde ses kaynağının gerçek zamanlı olarak belirlenmesi amacıyla değişik yöntemler geliştirilmiştir. Çapraz iltinti yöntemi, genetik algoritma, EBOY (En Büyük Olabilirlik Yöntemi), MUSIC (Multiple Signal Classification), ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Techniques) bunlardan bazılarıdır [1-3, 5, 10-14, 16].

Bu tez çalışmasında, ses kaynağının yerinin tespit edilmesi amacıyla genetik algoritma kullanılmıştır. Ses kaynağının muhtemel yerleri için uygun gecikme miktarları uygulanarak elde edilen ses sinyalleri üst üste toplanmış ve bu ses sinyalinin güçlülüğü kontrol edilmiştir. Sonuç ses sinyalinin en güçlü olduğu uzaysal koordinatın ses kaynağının gerçek yeri olduğu kabul edilmiştir.

Geliştirilen yöntem, daha önceden farklı mikrofon dizileri kullanılarak kayıt edilmiş olan ses sinyallerine uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak, değişken genlikli mutasyona dayanan genetik algoritma kullanılmıştır.

Tezin 2. bölümünde mikrofonlar ve mikrofon dizileri ile ilgili temel teorik bilgiler verilmiştir. Mikrofon dizileri ile demetleme ve ses kaynağı tespiti konularında yapılan çalışmalardan bazılarına değinilmiştir. Araştırma amacı ile oluşturulmuş olan mikrofon dizileri hakkında bilgiler verilmiş, ve mikrofon dizilerinin muhtemel kullanım alanları hakkında değerlendirme yapılmıştır. 3. bölümde, mikrofon dizileri hakkında şimdiye kadar yapılmış çalışmalardan bazıları incelenmiştir. 4. bölümde, ses kaynağının tespitinde kullanılan genetik algoritma hakkında genel bilgiler verilmiştir. 5. bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntem, formüllerle birlikte açıklanmıştır. 6. bölümde ise, geliştirilen yöntemin mevcut mikrofon dizilerinde kayıt edilmiş gerçek ses sinyalleri üzerinde deneme çalışmaları ve alınan sonuçlar verilmiştir. Yöntem, 2 farklı mikrofon dizileri kanalıyla kayıt edilen ses

verileri kullanılarak farklı mikrofon kombinasyonları ve farklı parametreler ile denenmiş, parametrelerin ve mikrofon kombinasyonlarının başarımlarının etkisi incelenmiştir. Her bir kombinasyon için elde edilen sonuçlar verilmiştir. 7. bölümde ise, elde edilen sonuçlar üzerinde değerlendirme yapılmış ve bulgular verilmiştir.

## 2. TEORİK BİLGİLER

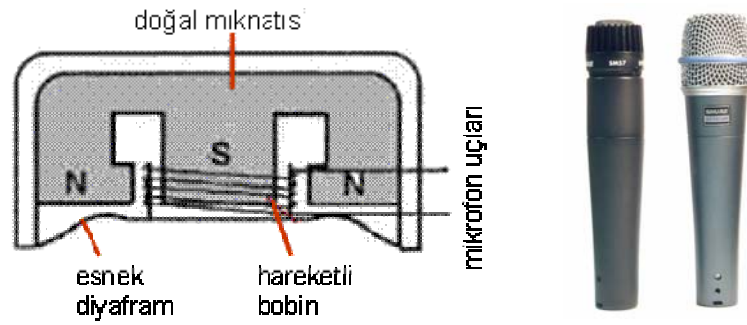
### 2.1. Mikrofon

Ses sinyallerini (akustik enerji) elektrik sinyallerine dönüştüren elemanlara mikrofon denir. Bu elemanlar, ses sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştüren algılayıcılar (transdüserler) olarak da tanımlanabilmektedir. Mikrofonların yapısı, özelliği ve çalışma ilkesi nasıl olursa olsun, en önemli elemanları diyafram adı verilen esnek zar kısmıdır. Çünkü hava ortamında ilerleyen ses dalgalarının oluşturduğu basınç ilk önce mikrofonun diyaframını titreştirmektedir. Mikrofonlar, kullanılan diyafram arkasındaki yapılaraya göre türlere ayrılmaktadır.

### 2.2. Mikrofon Çeşitleri

#### 2.2.1. Dinamik mikrofonlar

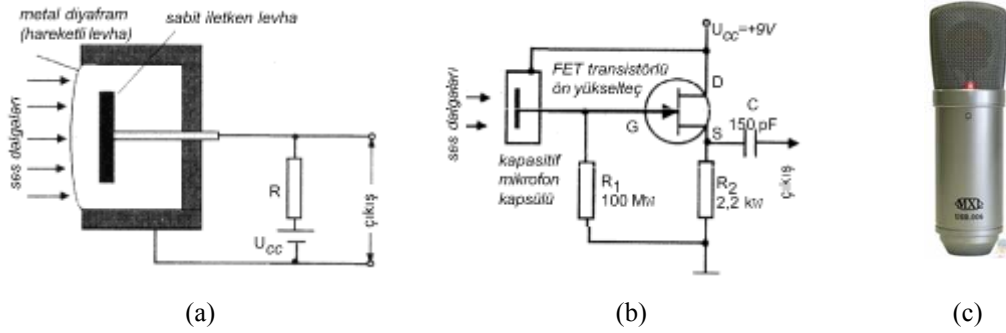
Şekil 2.1’de iç yapısı görülen dinamik mikrofonun diyafram (membran, esnek zar) adı verilen kısmına gelen ses titreşimleri bu elemanın salınım yapmasına neden olur. Titreşen diyafram ise kendisine tutturulmuş olan çok hafif hareketli bobini titreştirir. Silindirik yapılı bir doğal mıknatısın içine yerleştirilmiş olan bobin ise gelen ses dalgalarının frekansında elektrik sinyalleri üretir. Üretilen elektrik sinyallerinin değeri son derece küçük olup, 1-10 mV düzeyindedir.



Şekil 2.1. Dinamik mikrofon [4]

### 2.2.2. Kapasitif mikrofonlar

Kapasitif mikrofonlar, statik elektriklenme esasına göre çalışan mikrofon tipidir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi kapasitif mikrofonlarda ses dalgalarının basıncı, ince metal diyaframı etkiler. Diyaframın esnemesiyle kondansatör gibi çalışan düzeneğin kapasitesi değişir. Bu değişim sesin özelliğine göre çıkışta elektrik sinyalleri oluşturur. Bu tip mikrofonlar yüksek kalite istenilen yerlerde kullanılır. Ayrıca hafif ve küçük yapıları olarak üretilebilirler.



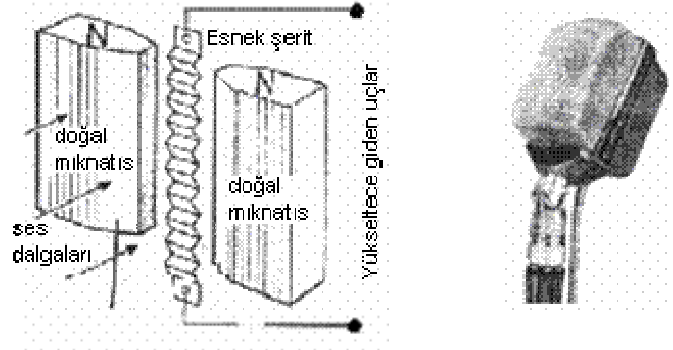
Şekil 2.2. (a) Kapasitif mikrofon ve (b) devre bağlantısı (c) MXL USB 006 kardioid kapasitif mikrofon [4]

Kapasitif mikrofonların devreye bağlantısı Şekil 2.2(b)’de görüldüğü gibi doğru akım (DC) beslemeli olarak yapılır. Mikrofonun plakalarına uygulanan doğru akım, modele göre 1,5 - 48 V arasında değişir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kapasitif mikrofonların doğru akım beslemesinde bir veya iki adet kalem pil bulunmaktadır. Çok küçük sinyallerin yükseltilmesinde FET (Field Effect Transistor – Alan etkili transistör) kullanılmaktadır. Kapasitif mikrofonlar, 50-15000 Hertz arası frekanslı seslere karşı duyarlıdır, distorsiyon oranları azdır ve empedansları büyüktür.

### 2.2.3. Şeritli mikrofonlar

Şeritli mikrofonlarda, Şekil 2.3’de görüldüğü gibi manyetik alan içine yerleştirilmiş ince bir alüminyum veya kalay levhaya ses sinyalleri çarptığı zaman, manyetik alan içinde hareket eden levhada ses frekanslı akım oluşur. Şeritli mikrofonların

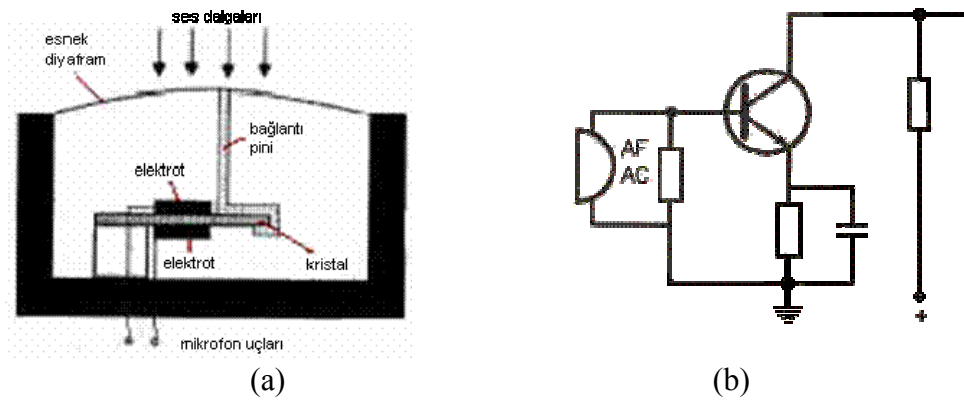
empedansı çok düşük, kaliteleri yüksektir. Sarsıntıdan, rüzgârdan olumsuz etkilendiklerinden kapalı ortamlarda kullanılırlar.



Şekil 2.3. Şeritli mikrofon

#### 2.2.4. Piezoelektrik kristalli mikrofonlar

Kuartz, roşel tuzu, baryum, turmalin gibi kristal yapılı maddelere basınç uygulandığında üzerlerinde elektrik akımı oluşur. Bu akım, basıncın kuvvetine ve frekansına göre değişir. Bu esastan yararlanarak kristal mikrofonlar yapılmıştır. Kristalli mikrofonlarda, kristal madde Şekil 2.4’de görüldüğü gibi çok ince iki metal elektrot arasına yerleştirilmiş ve küçük bir çubuk ile diyaframa tutturulmuştur. Ses titreşimleri diyaframı titreştirdiğinde kristal de titreşmektedir. Kristaldeki titreşim ise alternatif akım (AC) özellikli sinyallerin oluşmasını sağlamaktadır.

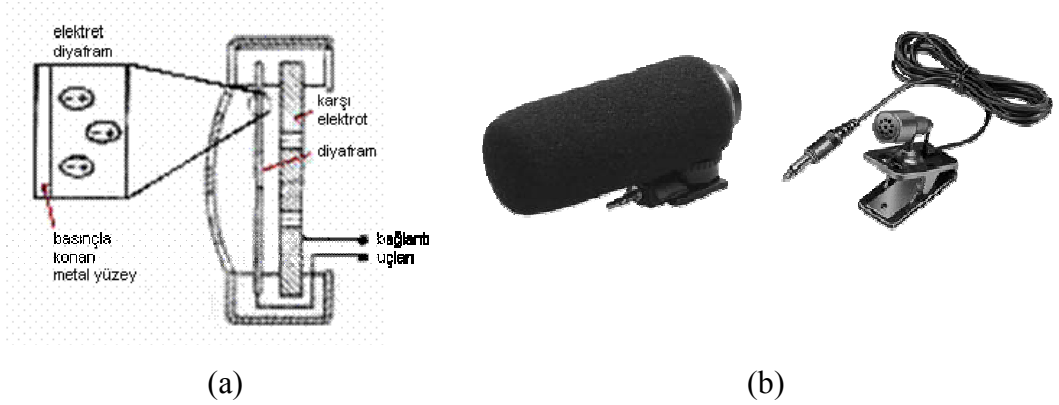


Şekil 2.4. (a) Kristal mikrofon (b) yükselteç devresi

Kristal mikrofonların kaliteleri yüksektir ve hassas yapılıdır. Kristalin ürettiği gerilimin değeri çok küçük olduğundan mikrofonun içine mini bir ön yükselteç monte edilir. Mikrofonun yapımında kullanılan kristal, nem, sıcaklık, güneş ışığı ve sarsıntılara karşı hassastır.

### 2.2.5. Elektret mikrofonlar

Halka (rondela) biçimindeki ince bir yarı iletken maddenin iki yüzü, üretim aşamasında elektrostatik yöntem kullanılarak artı (+) ve eksi (-) elektrik yükü ile yüklenir. Bu elektrik yükü yarı iletken maddenin özelliğinden dolayı yıllarca aynı değerde kalır. Bu nedenle, çalışma için dışarıdan güç besleme ihtiyacı duymamaktadır. Elektret kapsül, kristal mikrofonlarda olduğu gibi diyaframa bağlanmıştır. Diyafram titreştiğinde, elektret de hareket eder. Bu da kapsülün moleküler yapısını değiştirerek elektrotlar arasında bir gerilim oluşmasını sağlar. Şekil 2.5'te elektret mikrofonun yapısı ve örnek mikrofonlar verilmiştir.

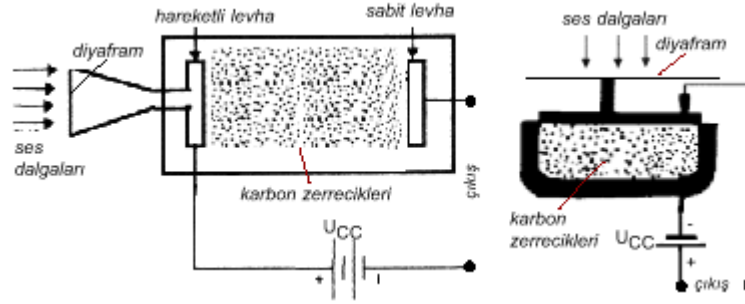


Şekil 2.5. (a) Elektret mikrofon kesiti (b) örnek mikrofonlar [4]

Elektret mikrofonların dirençleri (empedansları) ve hassasiyetleri yüksektir. Boyutları küçük olduğundan ve ilave bir doğru akım beslemesine ihtiyaç duymadığından yaka mikrofonu olarak kullanılmaya uygundur. Ayrıca, frekans bantları oldukça geniş olduğu için, alçak ve yüksek frekanslı sinyalleri dengeli olarak algılayabilmektedirler.

### 2.2.6. Karbon tozlu mikrofonlar

Karbon tozlu mikrofonlar Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir hazne içine doldurulan karbon tozu zerrecikleri ve esnek diyaframdan oluşmuştur. Ses dalgaları alüminyum diyaframa çarpınca bu eleman titreşerek karbon zerreciklerinin sıkışıp gevşemesine yol açar. Tozlar sıkışınca akımın geçiş yolu kısılacığından direnç azalır. Tozlar gevşeyince ise akımın geçiş yolu uzayacağından direnç yükselir. İşte bu işlem esnasında sesin şiddetine göre karbon tozlarından geçen akım değişken özellik gösterir. Karbon tozlu mikrofonların çalışabilmesi için bir doğru akım besleme kaynağına gereksinim vardır. Bu tip mikrofonların empedansları 50 ohm dolayında olup çok küçüktür. Ayrıca, kömür tozları zamanla özelliğini kaybettiğinden mikrofonun hassasiyeti bozulmaktadır. İşte bu nedenle günümüzde çok kullanılan bir mikrofon tipi olmayıp, eski tip telefonlarda karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.6. Karbon tozlu mikrofon

### 2.3. Mikrofon Dizileri

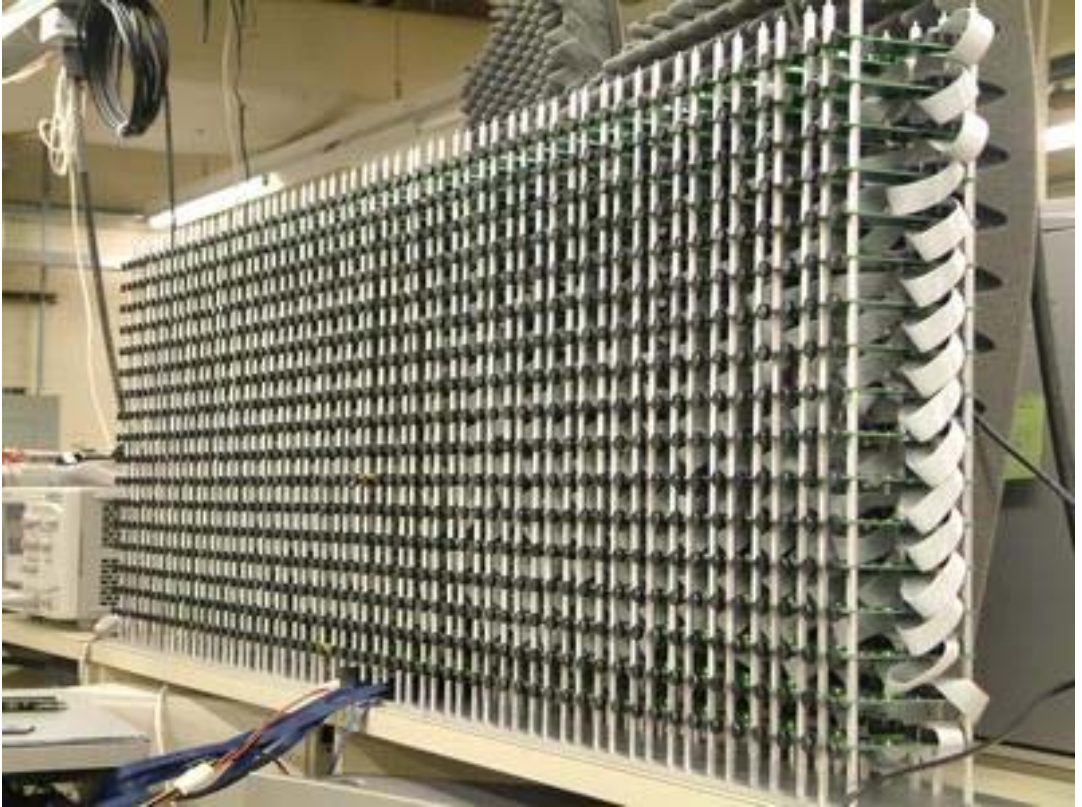
Mikrofon dizisi, geometrik olarak farklı noktalara yerleştirilmiş ve eşzamanlı çalışan birden fazla mikrofondan oluşan mikrofonlar kümesidir. Mikrofon dizileri, ses işleme sistemlerinde çok farklı amaçlarla kullanılmak üzere tasarlanmış ve geliştirilmişlerdir. Bu amaçlar;

- Gürültülü ortamlarda ses sinyalinin ortam gürültüsünden ayrıştırılması,
- Çok konuşmacılı ortamlarda dizinin yönlendirilmesi,
- İşitme cihazlarının başarımının artırılması,
- Ses kaynağı yerinin bulunması,

- Konuşmacının otomatik olarak izlenmesi,
- Ses tanıma sistemlerinin başarımının artırılması olarak özetlenebilir.

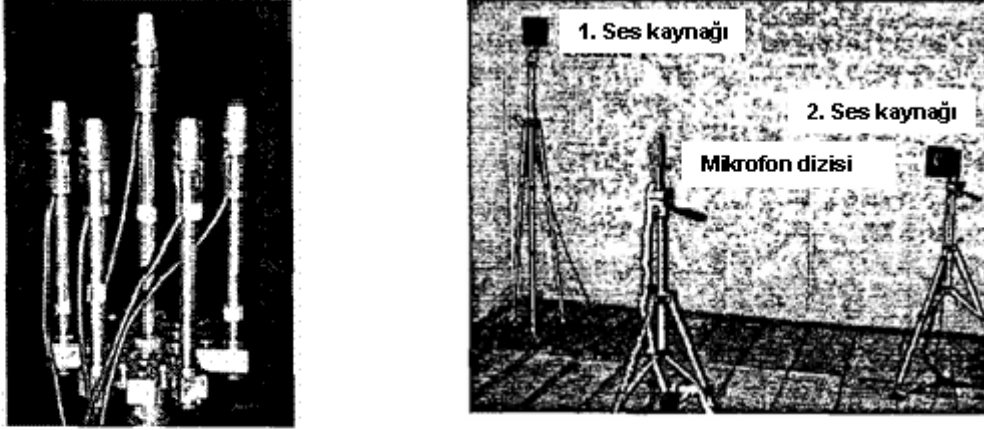


Şekil 2.7. NIST tarafından geliştirilen doğrusal mikrofon dizisi kartı

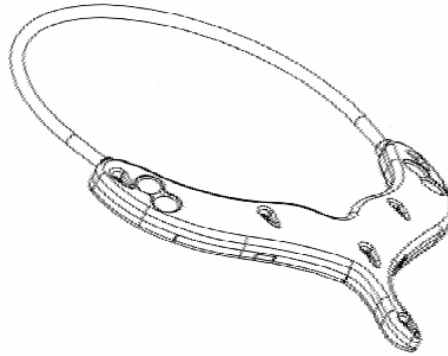


Şekil 2.8. MIT laboratuvarlarında geliştirilen 1020 mikrofonluk düzlemsel mikrofon dizisi [6]

Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da değişik amaçlarla tasarlanmış mikrofon dizileri görülmektedir.



Şekil 2.9. Üç boyutlu mikrofon dizisi [2]



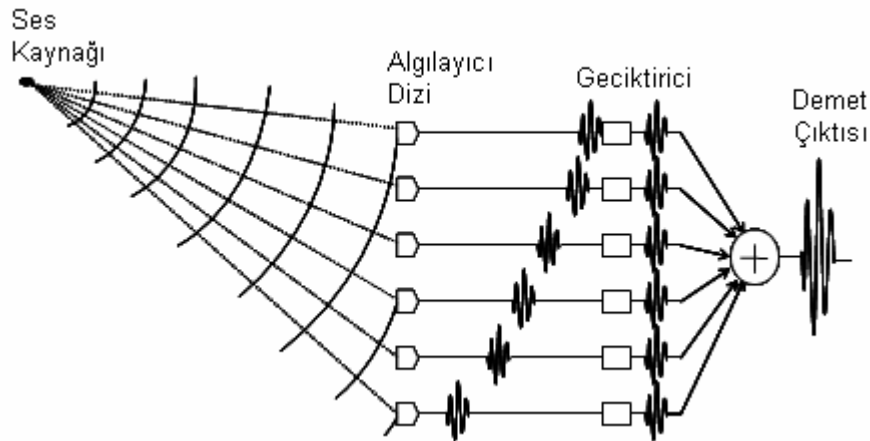
Şekil 2.10. Mikrofon dizisi ile işitme cihazı tasarımı [5]

#### 2.4. Mikrofon Dizileri ile Demetleme

Demetleyici genel olarak, bir tür uzaysal süzgeçleme gerçekleştirmek amacıyla bir dizi algılayıcı ile beraber kullanılan bir işlemci olarak tanımlanabilir. Algılayıcı dizileri tarafından alınan uzayda yayılan dalgaların uzaysal örnekleri daha sonra demetleyici tarafından işleme tabi tutulur. Burada amaç, gürültü ve karıştırıcıların bulunduğu bir ortamda, sadece istenen bir yönden gelen sinyalin elde edilmesidir.

Demetleyici, örtüşen frekanslara sahip olan ancak farklı yönlerden gelen sinyalleri ayrıştırmak için uzaysal süzgeçleme gerçekleştirir [7].

Demetlemenin temeli, sinyallerin uzayda yayılımı sırasındaki gecikmeye dayanır. Uzaysal olarak yayılan sinyallerin alınması amacıyla tasarlanan sistemler için en büyük engel girişim sinyalleridir. Alınmak istenen sinyal ve girişim sinyali aynı çalışma frekansında yayılıyor ise, istenen frekansı girişim frekansından ayırmak için frekans süzgeçlemesi kullanılamamaktadır. Ancak, girişimci sinyaller genellikle farklı uzaysal noktalardan yayılmaktadır. Bu konumsal farklılıktan yararlanarak, uzaysal süzgeçleme yöntemi ile istenen sinyal ile girişimci sinyal birbirinden ayrıştırılabilmektedir. Ayrıca, demetleme işlemi ile, mikrofonlar arasındaki faz farkı giderilmektedir (Bkz. Şekil 2.11).



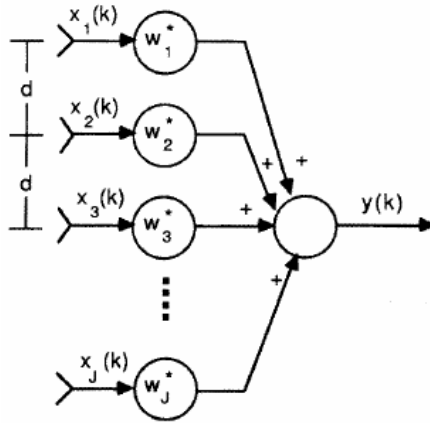
Şekil 2.11. Sinyalin demetleyici ile işlenerek zaman farkının giderilmesi [8]

Ayrık algılayıcıların kullanıldığı bir demetleyici ile istenen yönden gelen sinyaller güçlendirilirken, diğer yönlerden gelen sinyaller zayıflatılarak bastırılmaktadır. Bu nedenle demetleme, uzaysal süzgeçleme olarak da değerlendirilmektedir. Şekil 2.12’de dar bantlı temel bir demetleyici görülmektedir.

$J$  adet alıcıdan alınan sinyallerin  $k$  zamanındaki çıkışı, alıcılardan alınan sinyallerin lineer kombinasyonları Eş. 2.1 ile ifade edilmektedir.

$$y(k) = \sum_{i=1}^J w_i^* x_i(k) \quad (2.1)$$

Eş. 2.1’de  $w$  her bir alıcı için ağırlıkları,  $x$  giriş sinyallerini,  $y$  çıkış sinyalini,  $J$  algılayıcı sayısını, “\*” işareti ise karmaşık eşleniği göstermektedir. Ağırlıklar, demetin şeklini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.



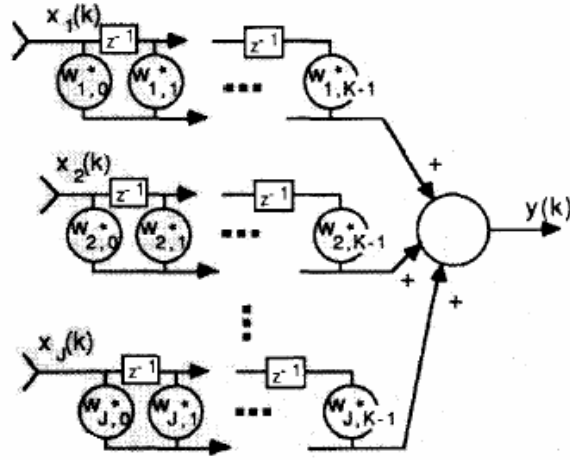
Şekil 2.12. Dar bantlı demetleyici [7]

Şekil 2.13’de ise, geniş bantlı bir demetleyici verilmiştir. Bu durumda Eş. 2.1’i aşağıdaki şekilde güncelleştirmek gerekmektedir.

$$y(k) = \sum_{i=1}^J \sum_{p=0}^{K-1} w_{i,p}^* x_i(k-p) \quad (2.2)$$

Eş. 2.2’de  $p$ , her bir alıcıdaki gecikme miktarını belirtmektedir.

Veen ve Buckley demetleyicileri veri bağımsız demetleyiciler ve istatistik olarak optimum demetleyiciler olmak üzere iki sınıfa ayırmışlardır. Veri bağımsız demetleyicilerde ağırlıklar alıcılardan alınan sinyallere bağımlı olmayıp genel bir değer olarak belirlenirler. İstatistik olarak optimum demetleyicilerde ise, dizinin çıkışında elde edilen cevap sinyalini eniyilemek üzere alıcılardan alınan sinyal değerlerin istatistik analizi sonucu belirlenirler [7].



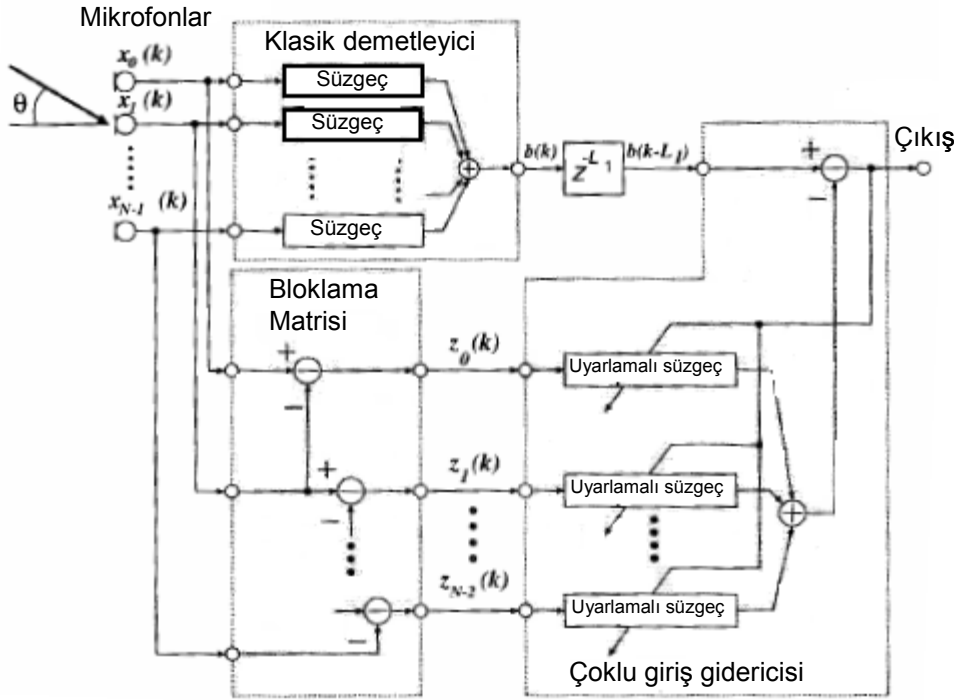
Şekil 2.13. Geniş bantlı demetleyici [7]

Demetleme sonucu elde edilen sinyalin kalitesini ölçmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar ; en küçük kareler toplamının (MSE) minimize edilmesi veya sinyal gürültü oranının (SNR) eniyilenmesi olabilmektedir. En küçük kareler toplamını hesaplayabilmek için referans sinyaline ihtiyaç vardır. Referans sinyali ile çıkış sinyali arasındaki hatanın minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Sinyal gürültü oranının hesaplanabilmesi için ise, gerçek sinyal ile gürültü sinyalinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

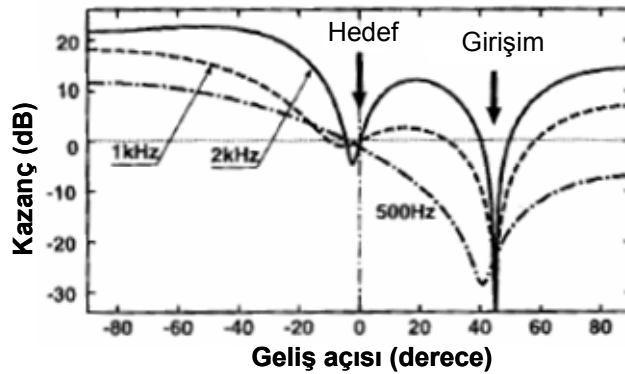
Burada anlatılan, algılayıcıların (mikrofonların) uzaysal konumlarına bağlı olarak gecikme uygulanan klasik (sabit) demetleyicilerdir. Klasik demetleyicilerde, sinyalin özelliklerine veya istatistiklerine dayanan bir işlem yapılmaz. Uyarlamalı demetleyicilerde ise, sabit demetleme işlemine ilave olarak, yönlendirme örüntüsü uyarlamalı olarak belirlenmektedir. Demetleme ve sıfır yönlendirme aynı anda gerçekleştirilmektedir.

Bilinen en yaygın uyarlamalı demetleyicilerden birisi Griffiths-Jim demetleyicisidir [9]. Griffiths-Jim demetleyicisi, Şekil 2.14'te görüldüğü gibi 3 bölümden oluşmaktadır. Sabit demetleyici, Veen tarafından önerilen bir geciktir ve topla demetleyicisidir [7]. İstenen yönden gelen sinyali güçlendirip, diğer yönlerden gelen sinyalleri zayıflatmak amacı ile kullanılır. Bloklama matrisi ise, istenilen yönde

sıfırlar üreten bir işlemdir. Bu amaçla, bitişik mikrofonlardaki sinyallerin farkı alınarak bloklama işlemi gerçekleştirilir. Böylece, istenilen yönden gelen sinyali engeller. Bloklama matrisinin çıkışında, istenilen yönden gelenler hariç tüm sinyaller bulunmaktadır.



Şekil 2.14. Griffiths-Jim demetleyicisinin blok şeması [9]



Şekil 2.15. Griffiths-Jim demetleyicisinin yönelme örüntüsü [9]

Çoklu giriş gidericisi (multiple input canceller), bloklama matrisinin çıkışlarını kullanarak, girişim sinyallerinin kopyalarını oluşturur. Bu değerleri sabit

demetleyicinin çıkışından çıkararak, ortam gürültüsü ve girişimlerden arındırılmış bir sinyal üretir. Griffiths-Jim demetleyicisinin yönelme örüntüsü Şekil 2.15’de görülmektedir.

## **2.5. Mikrofon Dizilerinin Kullanım Alanları**

### **2.5.1. Ses kaynağının yerinin bulunması**

Mikrofon dizileri, ses kaynağının hareketli veya değişken olduğu ortamlarda ses kaynağının yerinin gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Geometrik olarak yeri tespit edilen ses kaynağına demetleme yapılarak, alınan ses sinyalinin kalitesi (SNR), mikrofon sayısına göre değişen miktarlarda arttırılabilmektedir.

### **2.5.2. Ses tanıma sistemleri**

Ses tanıma sistemlerinin başarısı, mikrofon dizileri ile demetleme yapılarak arttırılabilmektedir [1]. Ses tanıma başarısı, kullanılan mikrofon sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

### **2.5.3. Konuşmacının otomatik olarak takip edilmesi**

Konuşmacının sürekli hareket ettiği bir ortamda, konuşmacı yerinin gerçek zamanlı olarak sürekli tespit edilmesi sonucu bu noktaya demetleme yapılmaktadır. Ayrıca, hareketli ses kaynağını takip ederek görüntü alıcılarını bu noktaya yönlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır.

### **2.5.4. İşitme cihazlarının başarımının arttırılması**

Mikrofon dizileri, işitme cihazlarının başarımının arttırılmasında da kullanılabilir [5]. Bir kulağı duymayan insanlarda sesin yönünün belirlenmesi mümkün değildir. Benzer şekilde, bir mikrofon içeren işitme cihazları ile ses

kaynağının yönünü belirlemek mümkün olmamaktadır. Mikrofon dizileri kullanılarak, işitme cihazı kullanan kişilerin ses kaynağının yönünü belirlemeleri mümkün olmaktadır. Ayrıca, kullanılan mikrofon sayısına bağlı olarak ses algılama ve tanıma başarısı da arttırılabilmektedir.

### **2.5.5. Eller serbest telefon görüşmesi**

Eller serbest olarak konuşma cep telefonlarında tercih edilen bir özelliktir. Bu teknolojiye problemler halen geliştirilme aşamasındadır. Özellikle trafik gürültüsünün yoğun olduğu yerlerde eller serbest modunda konuşma, çoğunlukla çok zor yapılabilmektedir. Gürültüsüz ortamlarda bile bu şekilde konuşurken yankı, seslerin algılanamaması gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Cep telefonları ile eller serbest olarak konuşmada kabul edilebilir bir düzeyde ses iletişiminin sağlanması, günümüzün önemli çalışma konularından biridir.

Cep telefonları ile yapılan konuşmalar artık daha uzun süreli olmaya başlamıştır. Konuşma süresi arttıkça, kulağa yakın tutulan telefonun yaydığı elektro-manyetik dalgalardan dolayı kulak arkasında ve beyinde ısı da daha fazla artmaktadır. Neden-sonuç ilişkisi içinde henüz tam olarak ispatlanmamış olsa bile, bu ısınmadan kaynaklanan hastalıklar ve bazı yan etkiler olduğu söylenmektedir. Yeni yapılan bazı çalışmalarda, cep telefonlarıyla uzun süre konuşanlarda, "ulnaris" adı verilen dirsekte bulunan sinirin zarar gördüğü ve bunun ameliyata bile neden olabileceği belirtilmiştir. Tipik telefon tutuşunda kol sürekli olarak kıvrık tutulmaktadır ve kol siniri dirsek üzerinden sürekli gerilmektedir. Zamanla bu baskı o kadar artabilir ki sinirin ölmesi söz konusu olabilir. Bu ve benzeri nedenlerle eller serbest konuşma yapılması önerilmektedir.

Cep telefonunu kulağa ve ağza yakın tutarak konuşmanın çeşitli rahatsızlıklara neden olmasıyla birlikte, esasında bu şekilde kullanımda en iyi akustik şartlar elde edilmektedir. Bunlardan önemli olan bazıları aşağıda belirtilmektedir:

- Yüksek sinyal-gürültü oranı

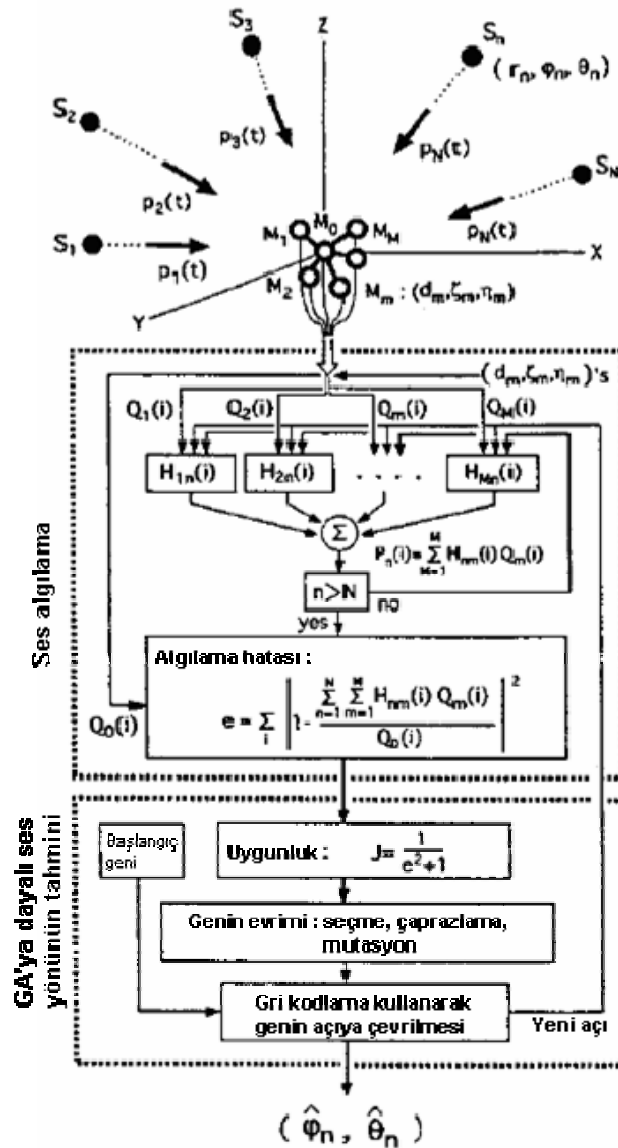
- Hoparlör ile insan kulağı arasında mükemmel akustik bağlaşım (acoustic coupling)
- Hoparlör ile mikrofon arasında yüksek genlik zayıflaması (attenuation)

Eller serbest konuşmaya geçildiğinde, bu teknik avantajlar etkisini kaybetmektedir. Elektro-akustik dönüştürücüler kulak ve ağızdan uzaklaştırılınca, yüksek sinyal-gürültü oranına ulaşmak ve hoparlör ile mikrofon arasındaki akustik bağlaşımından kurtulmak için karmaşık sinyal işlemeye gereksinim duyulmaktadır. Sonuç olarak eller serbest konuşma bazı teknik zorluklar getirmektedir. Mikrofon dizilerinin kullanımı sayesinde bu zorlukların büyük çoğunluğunun aşılması amaçlanmaktadır.

### 3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

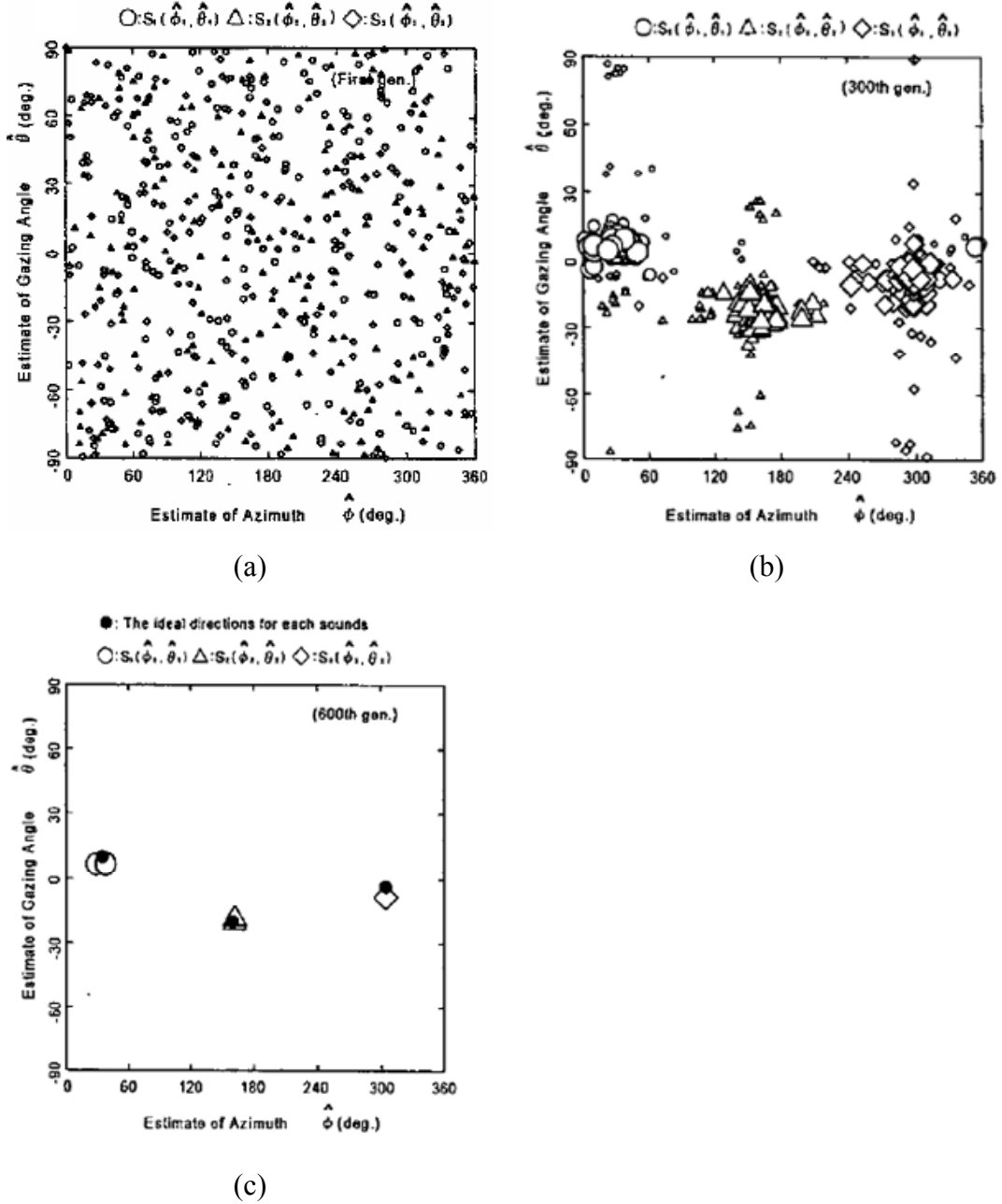
Tezin bu bölümünde, mikrofon dizileri ile ilgili olarak şimdiye kadar yapılmış bazı çalışmalara değinilecektir.

Bu konuda incelenen ilk çalışma, Hamahara ve ark. tarafından yapılan çalışmadır. Üç boyutlu mikrofon dizisi kullanarak (Şekil 2.9) , birden fazla ses kaynağının yerinin tespit edilmesinin amaçlandığı sistemin blok şeması Şekil 3.1’de verilmiştir [2].



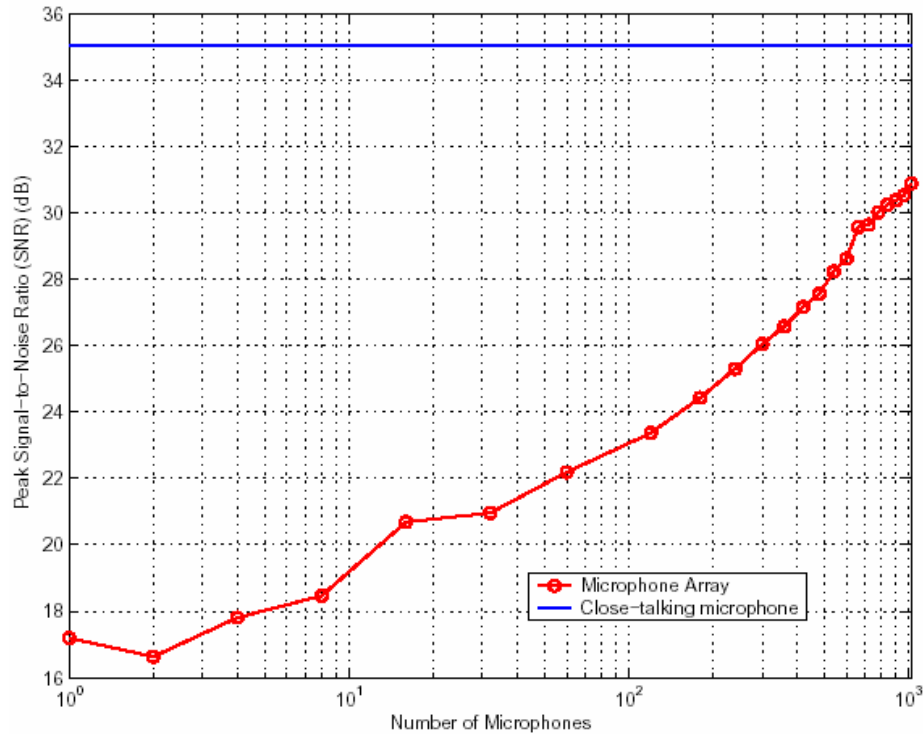
Şekil 3.1. Çoklu ses yönü tahmininde kullanılan sistemin blok şeması [2]

Ses kaynağının yerinin tespit edilmesi amacıyla Genetik Algoritmanın kullanıldığı çalışmanın sonuçları Şekil 3.2’de verilmiştir. Buna göre, 3 farklı ses kaynağının yerinin aynı anda tespit edilebildiği belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Ses kaynağı tespit algoritmasının evrimi (a) başlangıç popülasyonu, (b) 300 iterasyon sonrası, (c) 500 iterasyon sonrası [2]

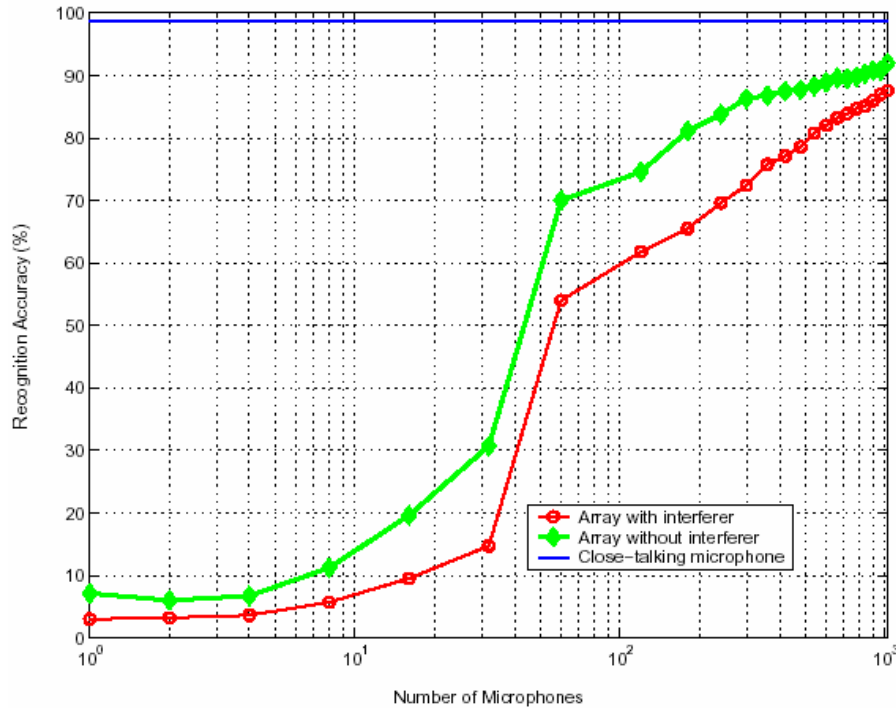
Mikrofon dizileri konusunda yapılan bir diğer çalışma ise, MIT (Massachusetts Institute of Technology) bilgisayar bilimleri laboratuvarlarında geliştirilen ve 1020 adet mikrofondan oluşan dizi (Bkz. Şekil 2.8) ile yapılan çalışmadır [6]. Bu çalışmada, dizideki mikrofonların, uzaysal konumları (pozisyonları) bilinen ses kaynaklarına demetleme yöntemi ile yönlendirilmesi sonucu ses kalitesinde artış sağlanması amaçlanmıştır. Demetleme yöntemi olarak geciktir-ve-topla yöntemi kullanılmıştır. Mikrofon dizisinden kaydedilen ses sinyalinin ses tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan mikrofon sayısına göre sinyal gürültü oranının (SNR) değişim grafiği Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Mikrofon sayısı ile SGO değişim grafiği [6]

Şekil 3.3'te verilen grafik incelendiğinde, geciktir-ve-topla demetleme yöntemi ile sinyal-gürültü-oranı değişiminin  $10 \cdot \log_{10}(\text{mikrofon\_sayısı})$  eşitliğini yaklaşık olarak doğruladığı görülmektedir. SGO değerinin hesaplanması için, referans mikrofondan elde edilen ses bilgisindeki konuşmanın olduğu ve olmadığı bölümler göz ile kontrol edilerek ayrıştırılmış, konuşma bölgesindeki işaret gücünün gürültü bölgesindeki güce oranı SGO olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, ses kaynaklarının yerinin bilindiği

kabul edilerek bu noktalara demetleme yapılmıştır. Demetleme sonucu elde edilen ses bilgisi, ses tanıma algoritması için giriş olarak kullanılmıştır. Ses tanıma sistemi ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçların grafiği Şekil 3.4'te görülmektedir. Grafikte, girişim sinyalinin olduğu ve olmadığı durumlarda elde edilen ses tanıma başarıları gösterilmiştir. Referans mikrofondan elde edilen ses bilgisinin başarı oranı ise %98.8 olarak hesaplanmıştır



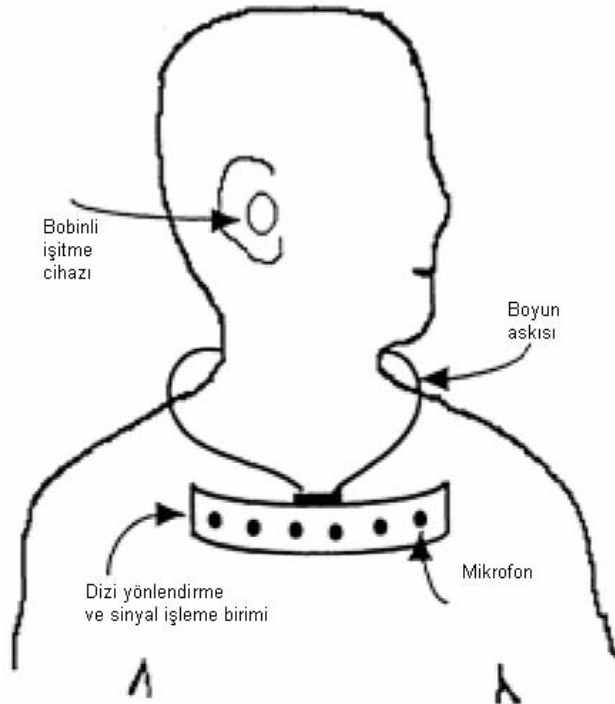
Şekil 3.4. 1020 mikrofon ile yapılan deneyler ile elde edilen sonuçlar [6]

Mikrofon sayısı ile Sinyal-Gürültü-Oranı (SGO) değişimi ve ses tanıma başarıları değişimi özeti Çizelge 2.1'de verilmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 ile Çizelge 3.1 incelendiğinde çıkarılabilecek en önemli sonuç, mikrofon sayısı ne kadar fazla olursa olsun, demetleme sonucu elde edilen sinyalin sinyal-gürültü-oranı ile ses tanıma başarıları, kaynağa çok yakın olarak yerleştirilen referans mikrofondan alınan ses kalitesinin altında kalmaktadır.

Mikrofon dizileri konusunda gerçekleştirilmiş olan diğer bir diğer çalışma ise, Widrow [5] tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Widrow bu çalışmada, mikrofon

Çizelge 3.1. Mikrofon sayısı ile ses tanıma başarısı ve SGO değişim tablosu [6]

Number of Microphones	Peak Signal-to-Noise Ratio (dB)	Accuracy Rate	
		Interferer Present	No Interferer
1	17.2	3.0%	7.1%
2	16.7	3.2%	6.0%
4	17.9	3.6%	6.7%
8	18.5	5.7%	11.2%
16	20.7	9.5%	19.6%
32	21.0	14.7%	30.7%
60	22.1	54.0%	70.0%
120	23.4	61.8%	74.6%
180	24.4	65.5%	81.1%
240	25.3	69.6%	83.8%
300	26.6	72.4%	86.3%
360	26.1	75.8%	86.8%
420	27.2	77.1%	87.5%
480	27.6	78.6%	87.7%
540	28.2	80.8%	88.3%
600	28.6	82.0%	88.9%
660	29.6	83.2%	89.6%
720	29.6	83.9%	89.5%
780	30.0	84.7%	89.8%
840	30.2	85.1%	90.3%
900	30.4	86.0%	90.8%
960	30.5	87.0%	90.8%
1020	30.9	87.6%	92.0%
Close-talking baseline	35.0	98.8%	



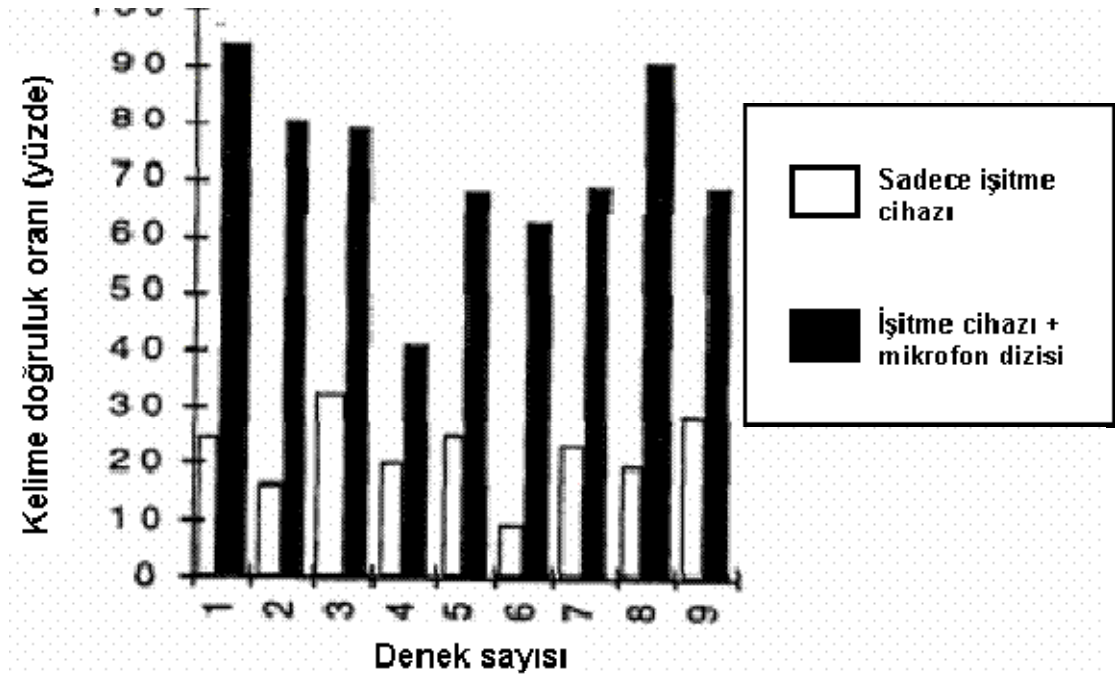
Şekil 3.5. Mikrofon dizisinin işitme cihazında kullanımı [5]

dizilerini işitme cihazlarında ses yönünün tespit edilmesi ve ses tanıma amacıyla kullanmıştır. Geliştirilen mikrofon dizisi Şekil 3.5'te görüldüğü gibi deneğin göğsü üzerine yerleştirilmiştir.

Widrow, mikrofon dizilerinin işitme cihazlarında kullanılması sonucunda;

- Sinyal gürültü oranında yaklaşık 10 dB değerinde bir artış sağlandığını,
- Dizinin istenen tarafa yönlendirilmesi sonucu yankılanma etkisinin önemli ölçüde azaldığını,
- Geri beslemeden dolayı oluşan gürültünün yaklaşık 15 dB değerinde azaldığını belirtmiştir.

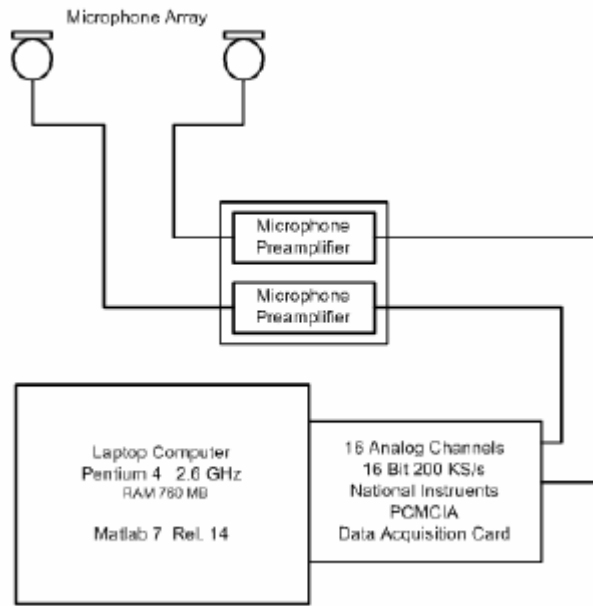
İşitme cihazında mikrofon dizisi kullanılması sonucu elde edilen başarı grafiği Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, mikrofon dizisinin kullanılmadığı durumlarda kelime tanıma başarıları %20 ile %30 arasında iken, mikrofon dizisi kullanılması sonucunda başarı %60 ile %90 arasında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.6. İşitme cihazlarında mikrofon dizisi kullanılması ile elde edilen kelime tanıma başarı grafiği [5]

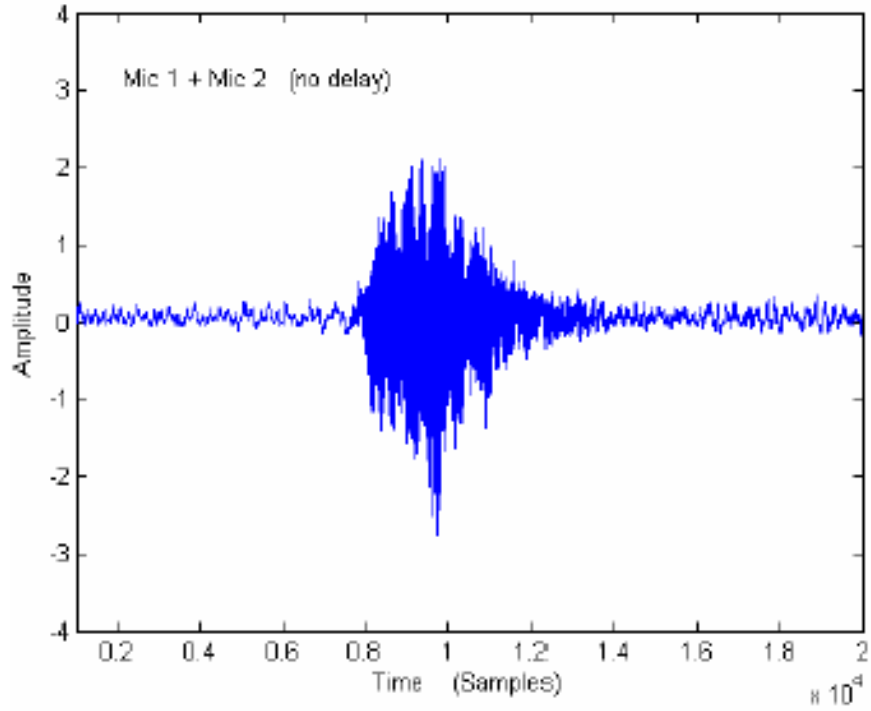
Widrow ve arkadaşları tarafından ticari olarak üretmek amacıyla patenti alınan mikrofon dizilerinin kullanıldığı işleme yardımcısı Şekil 2.10'da görülmektedir.

Aguilar ve ark., 2 adet mikrofondan oluşan dizi yardımıyla ses kaynağının yönünü tespit etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla oluşturulan deney düzeneği Şekil 3.7'de görülmektedir. Mikrofonlar, aralarındaki uzaklık 1 metre olacak şekilde yerleştirilmiştir [10].

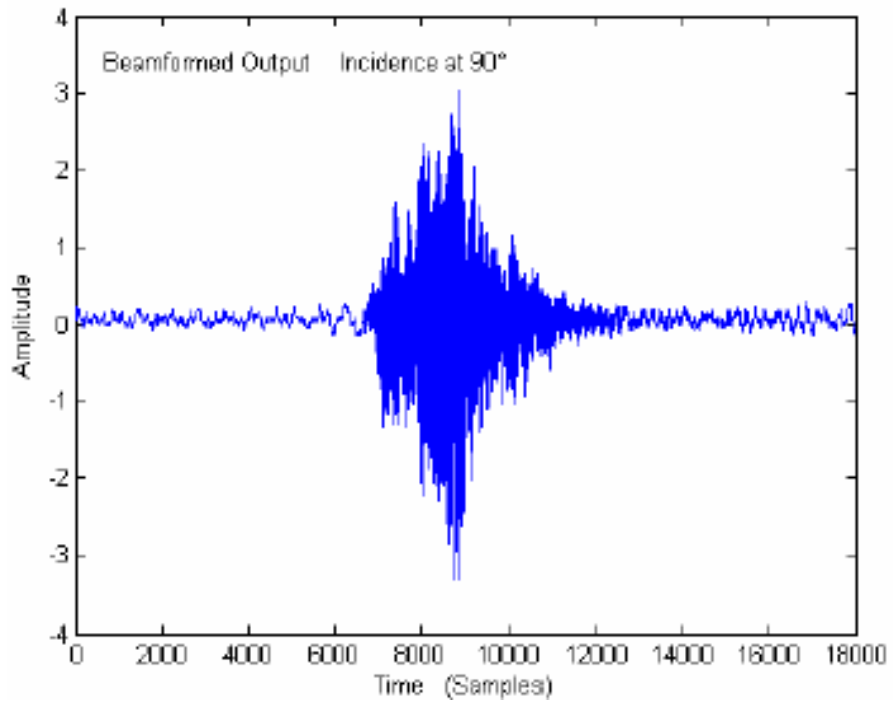


Şekil 3.7. 2 mikrofonlu deney düzeneği [10]

Mikrofonlardan alınan ses bilgileri sayısallaştırıldıktan sonra geciktir-ve-topla yöntemi ile üst üste toplanmış, en iyi çıkış sinyalini veren gecikme açısı ses kaynağının açısı olarak kabul edilmiştir. Arama yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu olarak, çıkış sinyalinin maksimum genliği alınmıştır. Mikrofon sayısı 2 ve aralarındaki uzaklık 1 metre olduğundan dolayı, 10 KHz frekansında örneklenen sayısal vektörlerde uygulanabilecek gecikme -29 ile 29 arasında hesaplanmıştır. Bu aralıktaki olası tüm değerler başlangıç çözüm kümesine dahil edildiğinden, 2. iterasyonda sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Şekil 3.8'de gecikme uygulanmaksızın mikrofon sinyallerinin üst üste toplanması sonucu elde



Şekil 3.8. İki farklı mikrofondan alınan ses sinyalinin gecikme uygulanmaksızın toplanması ile elde edilen çıkış sinyali [10]



Şekil 3.9. İki farklı mikrofondan alınan ses sinyalinin uygun gecikme uygulanarak toplanması ile elde edilen çıkış sinyali [10]

edilen grafik, Şekil 3.9’da ise, uygun gecikme uygulanarak elde edilen toplam çıkış sinyali (demetlenmiş sinyal) görülmektedir.

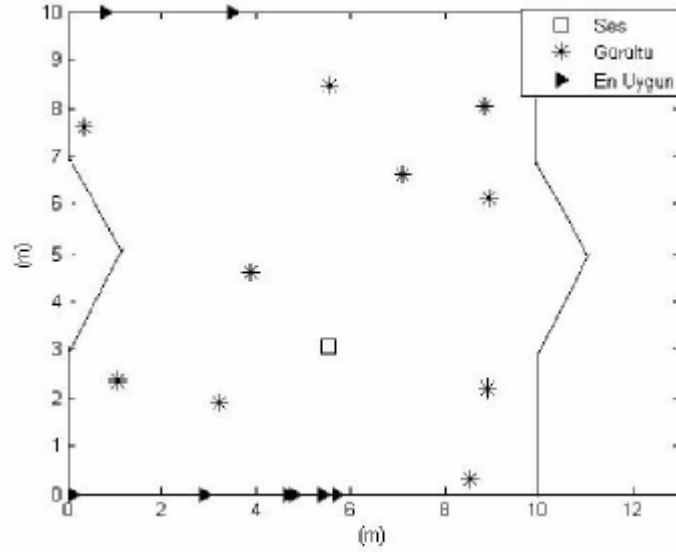
Birinci ve Leblebicioğlu, genetik algoritma yardımı ile mikrofon dizilerindeki mikrofonların ideal yerleşim noktalarını belirlemeye çalışmışlardır [11]. Birden fazla gürültü kaynağının, 1 adet ses kaynağının bulunduğu 100 metrekairelik bir odada 8 adet mikrofonun en uygun yerleşim yerini tespit etmişlerdir.

Mikrofonlardan elde edilen sinyalleri toplamak amacıyla, geciktir ve topla yöntemine dayalı demetleyici kullanmışlardır.

Genetik algoritma işlemleri kapsamında;

- Popülasyon büyüklüğünü 100 olarak almışlar,
- uygunluk değeri olarak ise sinyal gürültü oranını kullanmışlardır.
- Çaprazlama için seçim amacıyla rulet tekerleğini kullanmışlar, ancak çaprazlama için tek noktalı çaprazlama yerine, birörnek dağılımlı maskeye dayanan çaprazlama yaparak yeni nesilleri üretmişlerdir.
- Mutasyon oranını 0.05 almışlar ve standart mutasyon uygulamışlardır.
- Çaprazlama ve mutasyon sonucu geçersiz hale gelebilecek bireylere onarım uygulamak yerine, geçersiz bireylerin uygunluk değeri sıfır atanarak bu bireylerin çaprazlama için seçilmemesini sağlamışlardır. Böylece, onarım için ilave hesaplama maliyetinden kurtulmuşlardır.
- Evrim boyunca elde edilen en iyi sonucu saklayarak seçkinlik uygulaması gerçekleştirmişlerdir.
- 30 adım boyunca uygunluk değeri değişmediğinde algoritma sonlandırılmıştır.

Gürültü kaynaklarının bulunduğu ortamda, ses kaynağından gelen sesin 8 adet mikrofondan alınıp toplanarak yüksek kalitede bir çıkış elde edilmesi için mikrofonların ideal yerleşim yerleri Şekil 3.10’da görüldüğü şekilde hesaplanmıştır.



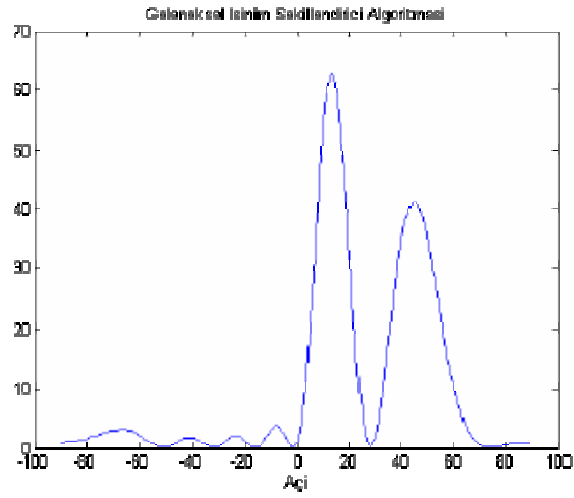
Şekil 3.10. Mikrofonların hesaplanan ideal yerleşimi [11]

Hacıvelioğlu ve Dinçer, akıllı anten sistemlerinde işaret geliş açısı kestirim yöntemlerini incelemiştir. Işınım şekillendirme teknikleriyle beraber kullanılan, işaret geliş açısı (DOA – Direction of Arrival) hesaplama yöntemlerinden; geleneksel ışın şekillendirici, MUSIC (Multiple Signal Classification) ve ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) yöntemleri üzerinde performans karşılaştırması yapılmıştır. Geleneksel ışın şekillendirici olarak geciktir ve topla yöntemini kullanmışlardır [12].

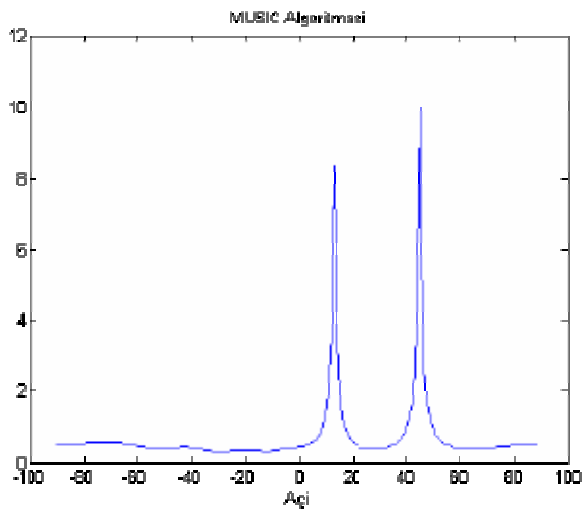
MUSIC algoritması gelen işaretlerin sayısını ve işaretlerin geliş doğrultularını doğru bir şekilde hesaplayabilen alt uzay tabanlı bir tekniktir ve Schmidt tarafından önerilmiştir.

ESPRIT algoritması da MUSIC gibi işaretlerin geliş doğrultularını hesaplamak için kullanılan alt uzay tabanlı bir tekniktir.

Sekiz elemanlı bir dizi için, geleneksel ışın şekillendirici (demetleyici), MUSIC ve ESPRIT yöntemleriyle hesaplanan geliş açısı kestirim sonuçları Şekil 3.11’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, geleneksel ışın şekillendirici algoritmasının düşük çözünürlüklü algoritmalar sınıfında yer aldığı görülmektedir. Çözünürlük



(a)



(b)

### ESPRIT ile Hesaplanan DOA Sonucu

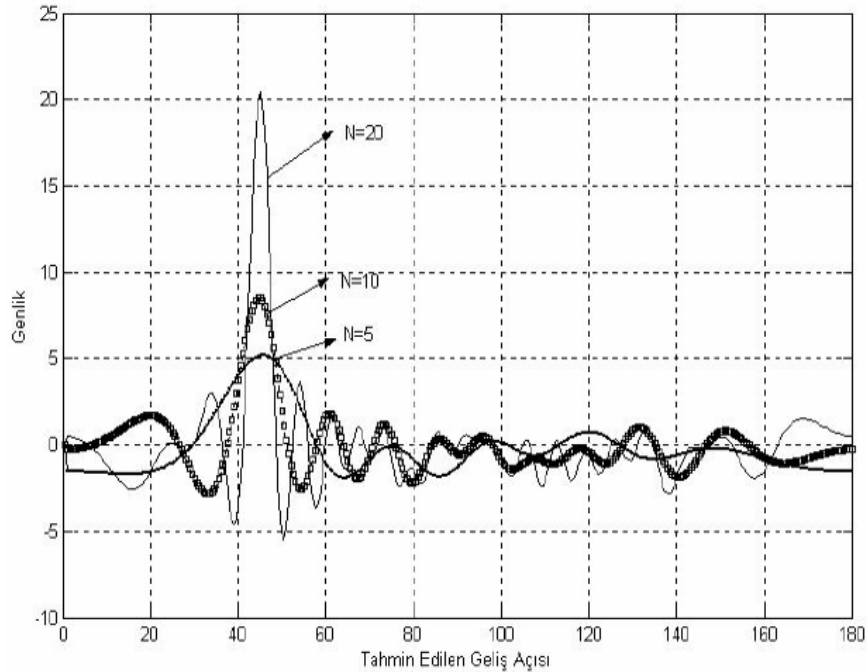


(c)

Şekil 3.11. Sekiz elemanlı mikrofon dizisi için (a) geleneksel demetleyici (b) MUSIC ve (c) ESPRIT ile hesaplanan geliş açıları [12]

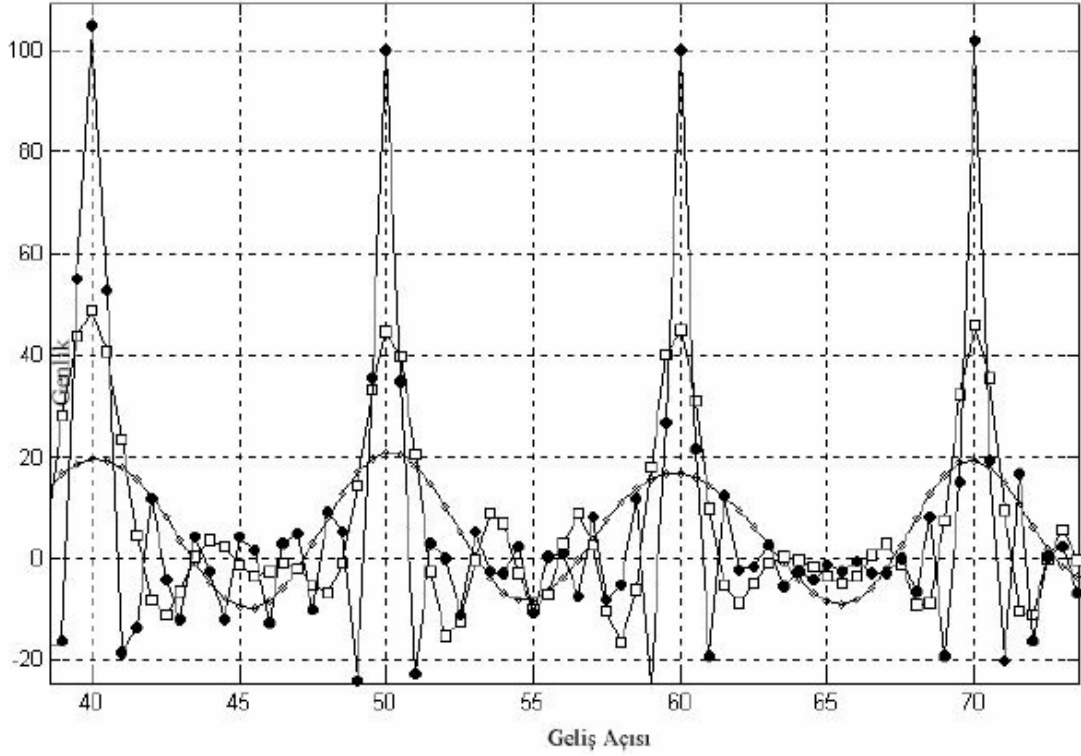
düşük olduğu için birden fazla işaret alınmak istendiğinde, işaretlere ait ışınım bir birine girmektedir. Algoritmanın çözünürlüğü artırılarak bu durumun önüne geçilebilmektedir. Çözünürlüğü artırmak için, dizi anten eleman sayısını arttırmak gerekmektedir. MUSIC ve ESPRIT algoritmaları ise yüksek çözünürlüklü alt uzay tabanlı algoritmalar [12].

Tamer ve ark., temel tahmin algoritmalarından biri olan en büyük olabilirlik yöntemi (EBOY) uygulayarak anten dizisine ulaşan geliş açısını belirlemeye çalışmışlardır. En büyük olabilirlik yöntemi, rastlantısal bir değişkenin (ölçülen değişken) bağlı olduğu bir başka değişkene göre olasılık dağılım fonksiyonu tanımlanması temeline dayanır. Olasılık dağılım fonksiyonu, ölçülen değişkenin hangi sıklıkta bağlı bulunduğu değişkeni tekrar ettiğini gösterir [13]. Şekil 3.12’de, tek bir kullanıcı (kaynak) için, 5, 10 ve 20 antenle yapılan benzetimin sonuçları verilmiştir. Kaynak sayısı dört olduğunda 20, 50 ve 100 antenle gerçekleştirilen benzetim sonuçları da Şekil 3.13’de verilmiştir. Anten sayısı arttıkça işaretin geliş açısı daha belirgin bir hale gelerek komşu değerlerden ayrılmaktadır. Ancak, anten



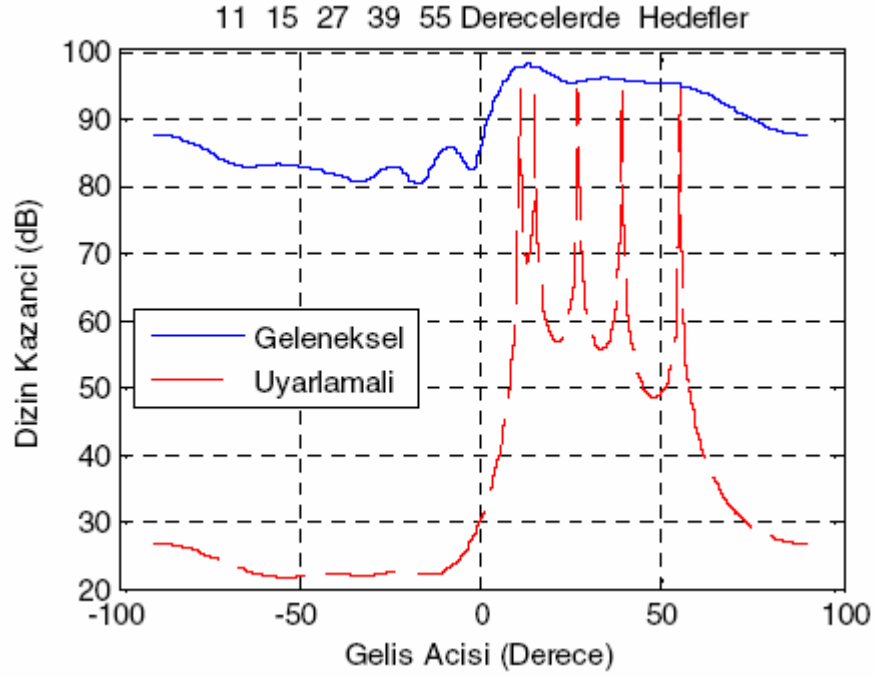
Şekil 3.12. Tek kullanıcı için 5, 10 ve 20 antenle yapılan benzetim [13]

sayısının artırılması işlenen vektörlerin boyutunu büyütmekte ve dolayısı ile işlem zamanını artırmaktadır [13].



Şekil 3.13. Kaynak sayısı dört olduğunda 20, 50 ve 100 anten sayılarıyla yapılan modelleme sonuçları (siyah yuvarlaklı çizgiler 100 anten, kareli çizgiler 50 anten, düz çizgi ise 20 anten ile yapılan benzetimdir) [13]

Direk ve ark., sualtı hidrofona dizi alıcılarda geleneksel ve uyarlamalı huzme şekillendiriciler (demetleyiciler) kullanarak kaynak sinyallerin geliş açılarını kestirmeye çalışmışlardır. Uyumlu alan işleme (UAI) işaret işleme tekniği ile kaynakların koordinatlarının (derinlik ve mesafe bilgilerinin) kestirilmesi benzetimlerini yapmışlardır. Benzetimler dalga kılavuzu özelliği taşıyan İstanbul Boğazı sualtı ortam şartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yapay verilerin dikey doğrusal bir dizi alıcı ile elde edildiği varsayılmıştır. Benzetimler sonucunda uyarlamalı huzme şekillendiricilerin geleneksel huzme şekillendiricilere göre daha yüksek çözünürlük sağladıkları görülmüştür (Şekil 3.14). Uyarlamalı huzme şekillendirme amacıyla yönsel izge kestirim prosedürü olan en küçük değişinti (Minimum Variance) tekniği kullanılmıştır [14].



Şekil 3.14. Geleneksel ve uyarlamalı huzme şekillendirme [14]

Yaşar ve ark., doğrusal olmayan diziler ile geniş bant işaretlerin geliş açısı tahmininde kök-MUSIC algoritmasının performansını incelenmiş ve literatürdeki yöntemlerden farklı bir yöntem uygulamışlardır [15].

Campbell ise, eller serbest telefon görüşmesi için uyarlamalı demetleme yöntemine dayanan ve MUSIC yöntemi ile geliş açısı kestirimi yapan uygulama yapmıştır [16].

## 4. GENETİK ALGORİTMA

### 4.1. Genel Bilgiler

Genetik Algoritma (GA) ilk defa 1975 yılında John F. Holland tarafından ortaya atılmış bir arama yöntemidir. Genetik algoritma, yönlendirilmiş rasgele araştırma algoritmalarının bir türüdür [17]. Algoritma, canlıların doğada yaşama ve neslini devam ettirme teorisi üzerine kurulmuştur. Mevcut şartlarda popülasyon içinde en güçlü bireylerin soyunu devam ettirme olanağının daha fazla olduğu tezine dayanmaktadır. Yöntem; kalıtım, mutasyon, doğal seçim ve çaprazlama gibi biyolojik evrim kurallarından esinlenilerek geliştirilmiştir.

Algoritma, araştırma uzayında mevcut olan çözümlerin oluşturduğu bir başlangıç yoğunluğunu (popülasyon) kullanır. Bu başlangıç yoğunluğu, her bir kuşakta (jenerasyon) tabii seçme ve tekrar üreme işlemleri vasıtası ile art arda geliştirilir. En son kuşağın en uygun yani en kaliteli bireyi, problem için optimal bir çözümdür. Bu çözüm, her zaman optimum olmayabilir, ancak kesinlikle optimuma en yakın olan çözümdür.

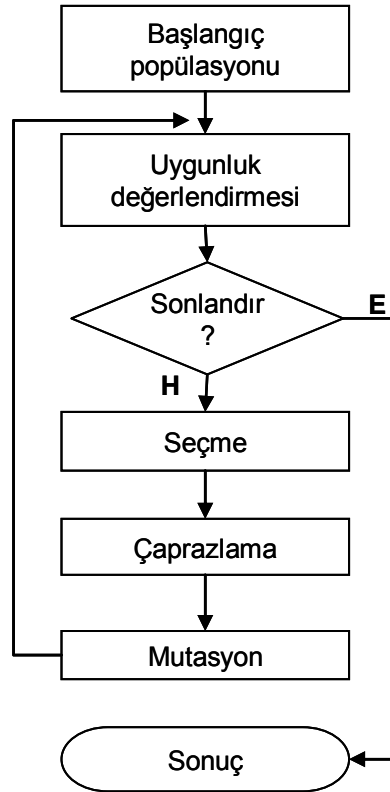
Çok boyutlu bir araştırma uzayında, global optimum bir çözümü rahatlıkla bulabilmektedir. Genetik algoritmanın paralel işlem yapabilen bilgisayarlarda kullanılmaya elverişli yapısı, zaman alıcı problemlerin kısa zamanda çözümü için çekici bir alternatif olmasını sağlamıştır. Genetik algoritma, klasik optimizasyon yöntemleri ile çözümü mümkün olmayan veya çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel olarak artan problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Genetik algoritmanın temel avantajı, optimize etmeye çalıştığı problemin tabiatı ile ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamasıdır [18]. GA'nın farklı problemlere uyarlanmasında en önemli adım, probleme özgü genetik kodlama ve uygunluk fonksiyonunun belirlenmesidir.

GA'ların probabilistik karakterleri ve çoklu mümkün çözümleri araştırma gibi önemli özelliklere sahip olmaları ve amaç fonksiyonunun gradyanının bilinmesine

ihtiyaç duymamaları en önemli üstünlükleridir [19]. GA'nın bu nedenle diğer geleneksel yöntemlerden, karakteristik olarak dört özelliği ile farklıdır [17] :

- GA parametrelerle değil, onların kodları ile çalışır.
- GA tek bir noktadan değil, bir noktalar topluluğundan arama yapar.
- GA türevleri veya diğer yardımcı bilgileri değil, amaç (uygunluk) fonksiyonu bilgisini kullanır.
- GA aramayı deterministik kurallarla değil, olasılıklı geçiş kuralları ile yapar.

Genetik algoritmanın temel akış diyagramı Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir. İşlem, çözüm uzayından belirli bir sayıda (popülasyon sayısı) başlangıç çözümün seçilmesi ile başlar. Her adımda çaprazlama, mutasyon ve uygunluk değerlendirmesi yapılır. Sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar bu işlem devam eder. Sonlandırma kriteri; belli bir sayıda iterasyon, uygunluk değerinin beklenen bir değere ulaşması veya belli sayıda iyileşme olmadan sürdürülen iterasyon sayısı olabilir.



Şekil 4.1. Genetik algoritma akış şeması

Standart bir genetik algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir [20]:

1. *Muhtemel çözümlerden başlangıç çözümleri (popülasyonu) oluştur.*
2. *Popülasyondaki her çözümün uygunluk değerini hesapla.*
3. *Durdurma şartları sağlanıyorsa durdur. Yoksa aşağıdaki adımları gerçekleştir;*
  - 3.1. *Uygunluk ölçekleme işlemini gerçekleştir.*
  - 3.2. *Seçme işlemini uygula (uygunluk değeri daha yüksek olan bireyler yeni popülasyonda daha fazla temsilciye, daha düşük olanlar ise daha az temsilciye sahip olacaklar).*
  - 3.3. *Rasgele seçme işlemini uygula (popülasyonun çoğunluğu tabii seçme, az bir kısmı da rasgele seçme işlemine tabi tutulur).*
  - 3.4. *Önceki popülasyonda var olan en iyi bireyi (çözümü) muhafaza et (doğal olmayan bir işlem).*
  - 3.5. *Çaprazlama işlemini uygula (Mevcut iki bireyden yeni iki birey üretilir).*
  - 3.6. *Mutasyon işlemini uygula (Her bit belli bir olasılıkla değişime tabi tutulur).*

#### **4.2. Genetik Kodlama**

Genetik algoritmanın bir probleme uygulanması sırasında ilk adım, problemin çözüm kümesinin genetik kodlamasının yapılması, yani kromozomların her birinin nasıl temsil edileceğinin belirlenmesidir. Bir problem için bir çözüm kümesi oluşturan karakter veya sayı dizisi, kromozom veya birey olarak adlandırılır. Kromozomlar genellikle "0" ve "1" lerden oluşan ikili sayı dizisi ile temsil edilseler de, gerçek sayılarla temsil edildiği durumlar da mümkündür.

Örneğin, bir gezgin satıcı probleminde; olası bir çözüm kümesi, gidilecek tüm noktaların sıra numarasını gösteren sayılar dizisi olabilir. 10 farklı noktadan oluşan bir problemin çözüm elemanı (birey, kromozom) aşağıdaki gibi gösterilebilir ;

2 5 1 7 6 10 8 9 4 3

Örnekte, tüm noktalardan geçmek şartıyla bir tur yapabilmek için uğranılacak şehirlerin sıra numaraları gösterilmiştir ve bu gerçek kodlamaya bir örnektir.

İkili (binary) kodlama ise, gerçek kodlamanın mümkün veya uygun olmadığı problemler için kullanılır. Örneğin, bir problemin çözüm kümesi -90 ile +90 derece aralığında bir açı ve 0 ile 400 aralığında bir uzaklıktan oluşuyor ise, bu çözümün kromozom olarak kodlanması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1

└──────────┬──────────┘

Açı = -45

uzaklık = 183

Burada her biri 10 adet ikili rakamdan oluşan iki katar birleştirilerek bir kromozom oluşturulmuştur. Her bir katarın birinci elemanı sayısal değerini işaretini göstermektedir. Kalan 9 eleman ise 10'luk düzendeki sayısal değerini ikilik düzendeki karşılığıdır.

### 4.3. Başlangıç Çözümlerinin Oluşturulması

Başlangıç çözümleri, problemin çözüm uzayından seçilen ve mümkün olduğunca problem uzayını tam temsil edebilen çözümlerdir. Başka bir ifadeyle, seçilen başlangıç çözümleri problemin çözüm uzayına homojen olarak dağılmış olması tercih edilir. Böylece çözüme daha çabuk ulaşma olasılığı artacaktır. Başlangıç çözümlerinin oluşturulması, genellikle rasgele seçimlerle gerçekleştirilir. Ancak, problemle ilgili bazı çözümler kabaca biliniyorsa, başlangıç popülasyonu bu çözümler kullanılarak oluşturulabilir. Böylece optimum çözüm bulmada zaman açısından tasarruf sağlanmaktadır [20].

Başlangıç çözüm sayısı (popülasyon sayısı) probleme göre değişiklik göstereceğinden, genellikle deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir.

İkili kodlanmış kromozomların kullanıldığı durumlarda ideal popülasyon büyüklüğünün ne olması gerektiğinin teorik araştırması Goldberg (1985) tarafından yapılmıştır. Araştırma sonucunda, popülasyon büyüklüğü ile kromozom uzunluğu arasındaki bağıntı Eş. 4.1 ile tanımlanmıştır [21].

$$\text{popülasyonbüyüklüğü} = 1,65 \cdot 2^{0,2 \cdot \text{uzunluk}} \quad (4.1)$$

Popülasyon büyüklüğü için seçilen değer, algoritmanın performansını iki şekilde etkilemektedir. Birincisi, popülasyon büyüklüğünün aşırı küçük seçilmesi, aratırma uzayının yetersiz örneklenmesine sebep olacağından, kontrollü ıraksamayı sağlamak zorlaşacak ve araştırma belli bir alt optimal noktaya doğru sürüklenecektir. İkincisi, popülasyon büyüklüğü için aşırı yüksek bir değer seçildiğinde bir nesillik gelişim oldukça uzun süreye ihtiyaç duyacaktır. Bu ise, özellikle gerçek zamanlı problem uygulamalarında arzu edilmeyen bir durumdur. Bu yüzden popülasyon büyüklüğü için uygun bir değer belirlenmelidir [20].

#### 4.4. Uygunluk Fonksiyonu

Genetik algoritmanın herhangi bir probleme uygulanması için yapılması gereken ikinci adım uygunluk fonksiyonunun belirlenmesidir. Uygunluk fonksiyonu, her bir çözümün ne kadar iyi olduğunu, diğer bir ifadeyle hedefe ne kadar yakın olduğunu belirleyen işlemdir ve her bir problem için farklıdır. Örneğin; Gezgin satıcı probleminde amaç seçilen rotanın uzunluğunun en kısa olmasıdır. Burada uygunluk fonksiyonu rotanın uzunluğunu belirler ve uzunluğu en az olan rota en iyi çözüm olarak belirlenir. Bu nedenle uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu olarak da isimlendirilir.

#### 4.5. Çaprazlama

Çaprazlama, bir popülasyon içindeki bireylerden (kromozomlardan) iki tanesinin seçilerek bunlardan iki adet yeni birey oluşturma işlemidir. Çaprazlama işlemi iki

ana adımdan oluşmaktadır. Bunlar, seçim ve birleştirme (yeniden üretme) işlemleridir.

#### 4.5.1. Seçim

Seçim işlemi, mevcut popülasyon içindeki, bir sonraki bireyleri üretmek için kullanılacak bireylerin belirlenmesi işlemidir. Seçim işleminin en basit olanı mevcut popülasyondan bireylerin rasgele seçilmesidir. Bu yöntem genetik çeşitliliği sağlamaya yardımcı olsa da, algoritmanın yakınsamasını geciktirmekte, ayrıca biyolojik evrim kurallarına da uymamaktadır. Bu sebeple bu yöntem pek kullanılmamaktadır.

Seçim amacıyla sık kullanılan ikinci yöntem *rulet tekerleği* yöntemidir. Bu yöntemde seçilecek bireyler yine rasgele seçilir ancak, uygunluk değeri daha iyi olan bireylerin seçilme olasılıkları daha fazladır.

Seçilecek bireyi belirlemek için, öncelikle Eş. 4.2 ile uygunluk değerlerinin toplamı bulunur.

$$UT = \sum_{i=1}^{PS} U_i \quad (4.2)$$

Burada  $PS$  popülasyondaki birey sayısı (popülasyon büyüklüğü),  $U_i$  ise her bir bireyin uygunluk değeridir. Elde edilen toplam uygunluk değeri kullanılarak her bir bireyin seçilme olasılığı ( $O_i$ ) yüzde olarak Eş. 4.3 ile hesaplanır.

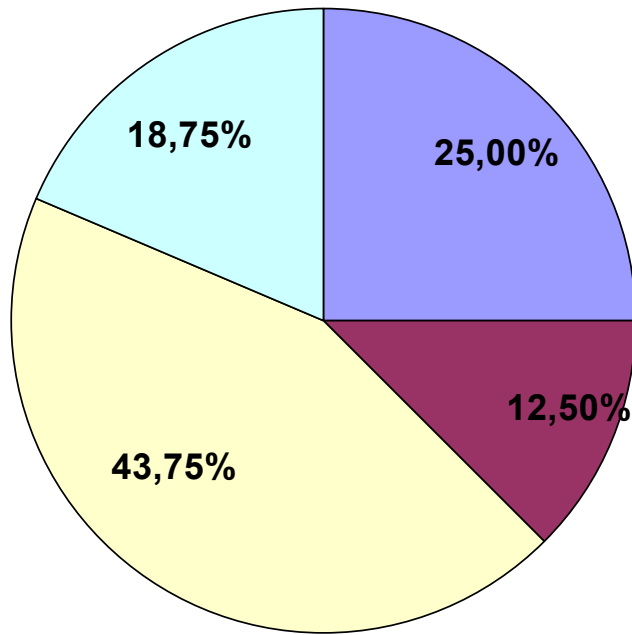
$$O_i = \frac{U_i}{UT} * 100 \quad (4.3)$$

Örnek olarak, 4 adet bireyden oluşan bir popülasyon için bireylerin uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Hesaplanan olasılık değerlerinin sonucu rulet tekerleğinde Şekil 4.2’de görüldüğü gibi gösterilebilir.

Çizelge 4.1. Bireylerin uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları

Birey No	Birey Dizisi	Uygunluk değeri	Seçilme Olasılığı (%)
1	0 0 1 1 0	100	25
2	0 1 0 1 0	50	12,5
3	1 0 1 1 0	175	43,75
4	1 0 0 1 0	75	18,75
<b>Toplam</b>		<b>400</b>	<b>100</b>



Şekil 4.2. Olasılıkların rulet tekerleği ile gösterimi

Popülasyondan seçilecek bireyi belirlemek için, 1 ile 100 arasında rasgele bir rakam seçilir. Daha sonra, seçilen rakama eşit veya daha büyük oluncaya kadar Eş. 4.3 ile elde edilen değerler üst üste toplanır. Bu işlem, Şekil 4.2’de rulet tekerleği üzerinde “0” dan başlamak üzere saat yönünde hareket etmek anlamına gelmektedir. Örnek olarak; rasgele seçilen rakam 45 ise, 3 ncü birey seçilecektir. Şekil 4.2’de de açık

olarak görüldüğü gibi, uygunluk değeri daha iyi olan bireylerin seçilme olasılıkları aynı oranda daha fazladır.

Seçim amacıyla kullanılan başka bir yöntem ise *turnuva yöntemidir*. Bu yöntemde, popülasyondan, rastsal olarak bir grup kromozom seçilir. Bu grup içindeki en iyi uyum değerine sahip kromozom, yeni nesile aktarılır. Popülasyon büyüklüğüne ulaşıncaya kadar, bu işleme devam edilir. Grup büyüklüğü genellikle ikidir [22].

*Stokastik artan seçim* yönteminde ise, kromozomların uyum değerleri dikkate alınarak yeni nesilde yer alması beklenen kopya sayıları hesaplanır. Hesaplanan sayının tamsayı kısmı kadar kromozom yeni nesile aktarılır. Popülasyon büyüklüğü istenen sayının altında ise, kopya sayılarının kesirli kısımları, toplamları 1.0 edecek şekilde ayarlanır. Bu ayarlanmış sayılar olasılık olarak kullanılarak popülasyonu tamamlamaya yetecek kadar kromozom seçilir [23].

#### 4.5.2. Yeniden üretim

Tercih edilen seçim yöntemiyle mevcut popülasyondan seçilen 2 adet birey, 2 adet yeni birey oluşturacak şekilde çaprazlanır. Çaprazlama, yeni bireylerin özelliklerinin bir kısmını bir bireyden (babadan), diğer kısmını ise diğer bireyden (anneden) alacak şekilde yapılır. Çaprazlama tek noktalı veya çok noktalı olabilir.

Tek noktalı çaprazlamada, bir rakamı ile kromozom uzunluğundan bir eksik rakam arasından rasgele bir sayı seçilir. Bu rakamdan önceki genler birinci ebeveynden, sonraki genler ise ikinci ebeveynden alınarak birinci yeni birey oluşturulur. İkinci yeni birey ise tersi şekilde, ikinci ebeveynin birinci bölümü ile birinci ebeveynin ikinci bölümü birleştirilerek elde edilir. Örnek olarak: seçilen ebeveyn kromozomlar (10 gen uzunluğunda) aşağıdaki şekilde olsun;

K1 : 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1

K2 : 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0

Çaprazlama noktası olarak 4 seçildi ise, yeni bireyler aşağıdaki gibi oluşturulur.

Y1 : 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0

Y2 : 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1

İki noktalı çaprazlama yönteminde ise, iki farklı çaprazlama noktası belirlenir ve yeni bireyin iki bölümü bir ebeveynden, bir bölümü ise diğer ebeveynden alınır. Yukarıdaki örnekte ebeveynler 3 ve 8 noktalarından çaprazlanacak olursa aşağıdaki yeni bireyler elde edilir.

Y1 : 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1

Y2 : 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0

Noktalı çaprazlama yerine, birörnek dağılımlı maske kullanarak çaprazlama uygulaması da mevcuttur [11]. Bu yöntemde, kromozom uzunluğu kadar 1 ve 0'lerden oluşan birörnek dağılımlı rasgele bir maske dizisi oluşturulur. Bu maske dizisinde değeri 1 olan bitler birinci ebeveynden, değeri 0 olan bitler ise ikinci ebeveynden alınır. İkinci bireyin oluşturulması için ise tam tersi bir işlem uygulanır. Yani, maskede değeri 1 olan bitler ikinci ebeveynden, değeri 0 olan bitler ise birinci ebeveynden alınırlar. Örnek olarak K1 ve K2 kromozomları aşağıdaki gibi verilmiş olsun;

K1 : 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1

K2 : 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0

Maske dizisi ( 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 ) şeklinde belirlenmişse, çaprazlama sonucu aşağıdaki bireyler elde edilir.

Y1 : 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0

Y2 : 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1

Bu şekildeki çaprazlama ile genetik çeşitliliğin oldukça artacağı, ancak algoritmaya bir miktar rastsallık getireceğinden dolayı yakınsamayı geciktireceği değerlendirilmektedir.

#### **4.5.3. Seçkinlik (Elitizm)**

Bir popülasyondan çaprazlama yöntemi ile yeni popülasyonun oluşturulması sırasında, bulunan en iyi çözümün kaybedilmesi olasılığı vardır. Bu riski ortadan kaldırmak amacıyla, her popülasyondaki en iyi bir veya birkaç birey doğrudan yeni popülasyona kopyalanır. Doğal ortamda karşılığı olmayan bu işleme seçkinlik (elitizm) adı verilir. Elit sayısının yüksek olması, iyi bireylerin popülasyonda baskınlık sağlayarak genetik çeşitliliğin azalmasına ve dolayısı ile algoritmanın erken yakınsamasına yani yerel optimuma takılmasına sebep olabilmektedir.


#### **4.6. Mutasyon**

Mutasyon işlemi, yeni bireyler oluşturulurken ebeveynin tüm özelliklerinin aynısını almaları yerine, özelliklerde küçük bazı değişikliklerin olması ilkesine dayanır. Çaprazlanarak elde edilen bireylerin genleri üzerinde küçük değişiklikler yapılarak arama uzayı mevcut çözüm noktalarının çevresine yayılır.

Mutasyon işlemi, probleme ve genetik kodlamaya göre değişiklik arz eder. Gerçek kodlarla kodlanmış bireylere mutasyon işlemi, genleri temsil eden ondalık sayılara küçük bir miktarın eklenmesi veya çıkarılması şeklinde uygulanır. Ancak, gezgin satıcı problemi gibi, genetik kodlaması gidilecek düğüm noktalarından oluşacak şekilde tasarılanmış problemlerde mutasyon işlemi, seçilen iki farklı düğüm noktasının yer değiştirmesi şeklinde yapılabilir.

İkili kodlanmış kromozomlarda ise mutasyon işlemi, gen değerinin sıfırdan bire veya birden sifıra değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Aşağıda, 10 bitlik bir dizi ile temsil edilen kromozoma mutasyon uygulanması gösterilmiştir.

Mutasyondan önce	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
Mutasyondan sonra	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1


  
değişime uğrayan genler

Mutasyon oranının belirlenmesinde ve uygulanmasında bazı konulara dikkat edilmelidir. Mutasyon oranının yüksek olması genetik çeşitliliği arttırmakla beraber, rastsallığı da arttırdığından algoritmanın yakınsama (çözüm noktasına yaklaşma) süresi artacaktır. Mutasyon oranının çok düşük olması ise, genetik çeşitliliği azaltacak ve erken yakınsamaya sebep olabilecektir. Erken yakınsama sonucunda genellikle yerel optimuma düşüldüğünden istenmeyen bir durumdur.

Mutasyon işleminin uygulanmasında gözden kaçırılmaması gereken başka bir konu ise, kromozomun bünyesindeki genlere uygulanacak değişikliğin sonucunun, genin kromozom içerisindeki konumuna bağlı olduğudur. Diğer bir ifade ile, kromozomun genlerinin birinci elemanına uygulanacak bir değişiklik, son elemanına uygulanacak bir değişiklikten çok daha belirgindir. 8 elemanlı ikili sayıdan oluşan bir kromozomun birinci elemanında yapılacak bir değişikliğin ondalık karşılığı 128 iken ( $2^7$ ), 8 nci elemanında yapılacak değişikliğin ondalık karşılığı 1'dir. Bu sebeple, iterasyonun sonuna yaklaştıkça daha küçük değişikliğe sebep olacak mutasyona izin verilmesi uygun görülmektedir.

Mutasyonun her adımda her yeni bireye rastsal olarak uygulanması yerine farklı uygulamalar da mevcuttur. Hacıoğlu ve ark., iterasyonun sadece belli adımlarında (örneğin her 5 adımda bir) tüm bireylerin tüm genlerine mutasyon uygulamışlardır. Aradaki adımlarda mutasyon uygulamayarak çözümün kendisini toparlamasına izin vermişlerdir. Uygulanacak titreşimin genliğini, ortalama uygunluk değerinin değişimine bağlı olarak uyarlamışlardır. Titreşimli genetik algoritma (TGA) olarak adlandırdıkları bu yöntemin, geleneksel mutasyon uygulanan yöntemle göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir [24].

#### 4.7. Onarım

Çaprazlama ve mutasyon sonucu elde edilen yeni bireyler bazı durumlarda probleme ait gerçek durumları ifade etmemektedir. Gezgin satıcı probleminde bazı noktalara 2 defa gidilmesi, bazı noktalara hiç gidilmemesi çözümün geçersiz olduğunu gösterir.. Başka bir durumda ise, elde edilen değerler, problem için belirlenen sınır değerlerinin dışına çıkabilmektedir. -90 ile +90 arasında olması gereken bir açığı değerinin, genetik işlemleri sonucu -100 çıkması buna bir örnektir. Bu gibi durumların önüne geçmek için, çaprazlama ve mutasyon işleminden sonra her bir bireye (kromozoma) geçerlilik kontrolü uygulanır. Belirlenen sınırın dışında olan veya geçerli olmayan kromozomlar üzerinde gerekli düzeltme işlemi yapılarak geçerli hale getirilir.

Aşağıda, 10 adet noktadan oluşan bir gezgin satıcı probleminde çaprazlama sonucu geçersiz hale gelmiş bir kromozom görülmektedir. Kromozomda 5 numaralı noktaya iki defa gidilmekte, 4 numaralı nokta ise hiç bulunmamaktadır.

Geçersiz kromozom :

2	5	1	7	6	10	8	9	5	3
---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

Geçersiz kromozom, onarım işlemi ile geçerli hale getirilmelidir.

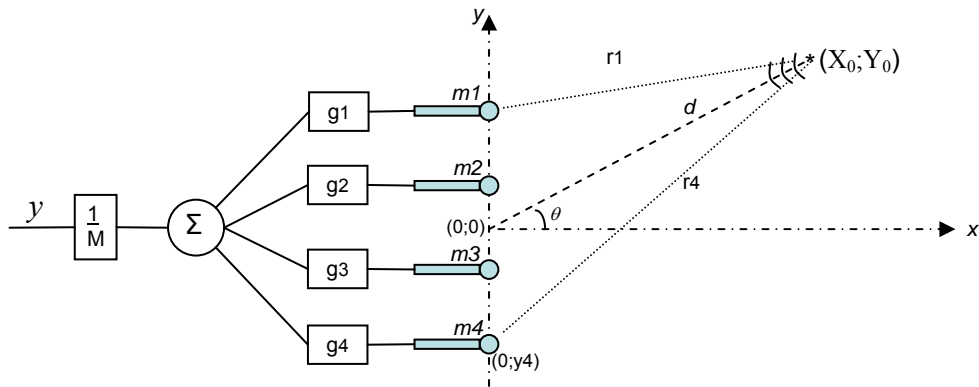
Onarılmış kromozom :

2	5	1	7	6	10	8	9	4	3
---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

## 5. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

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.

Problemde her bir çözüm kümesi olarak açı ve uzaklıktan  $(\theta, d)$  oluşan bir değer kullanılmıştır. “d” değeri “y” ekseninden uzaklığı göstermektedir. “ $\theta$ ” değeri ise, orijin  $(0;0)$  noktasından ses kaynağının bulunduğu noktaya çizilen doğrunun “x” eksenini ile yaptığı açiyı göstermekte olup,  $-90$  ile  $+90$  arasında bir değerdir (Şekil 5.1). Bu durumda ses kaynağının koordinatları  $(X_0; Y_0)$ , Eş. 5.1 ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Geciktir ve topla yöntemi ile demetleme yapılması

$$X_0 = d * \cos(\theta), \quad Y_0 = d * \sin(\theta) \quad (5.1)$$

Odak noktasının, diğer bir ifade ile ses kaynağının bulunduğu noktanın, her bir mikrofona uzaklığını  $(r_i)$  hesaplamak için Eş. 5.2 kullanılmıştır.

$$r_i = \sqrt{(Y_0 - Y_i)^2 + (X_0)^2} \quad (5.2)$$

Eş. 5.2’de  $Y_i$ , her bir mikrofonun “y” eksenindeki konumunu göstermekte olup, Bölüm 6.1.1’de verilen bilgiler doğrultusunda veya el ile oluşturulmuştur. Gecikme değerlerinin, sayısallaştırılmış ses bilgisi dizisi içerisinde indislere dönüştürülmesi işlemi ise Eş.5.3 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$g_i = \frac{r_i}{c} \cdot f \quad (5.3)$$

Eş. 5.3’te  $r_i$ ,  $i$  nci mikrofonun odak noktasına uzaklığını,  $c$  ses hızını,  $f$  ise örnekleme frekansını göstermektedir.  $g_i$  ise  $i$  nci mikrofonda oluşan gecikme miktarını indis olarak göstermektedir. Burada sesin havadaki yayılma hızı ( $c$ ) olarak  $340 \text{ ms}^{-1}$  alınmıştır.

Her bir mikrofon için Eş. 5.3 ile hesaplanan gecikme miktarları mikrofonlardan alınan ses dizilerine uygulanarak diziler üst üste toplanmış ve toplam ses dizisi elde edilmiştir (Eş. 5.4).

$$Y_k = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_{k+g_j}^j \quad (5.4)$$

Eş. 5.4’te  $Y_k$ , elde edilen çıkış dizisinin  $k$  ncı elemanını,  $M$  mikrofon sayısını,  $x$  ise giriş dizilerini göstermektedir.

Elde edilen çıkış sinyali değişik kriterlere göre değerlendirilerek, en güçlü sinyali veren noktanın ses kaynağının yeri olduğu kabul edilmektedir.

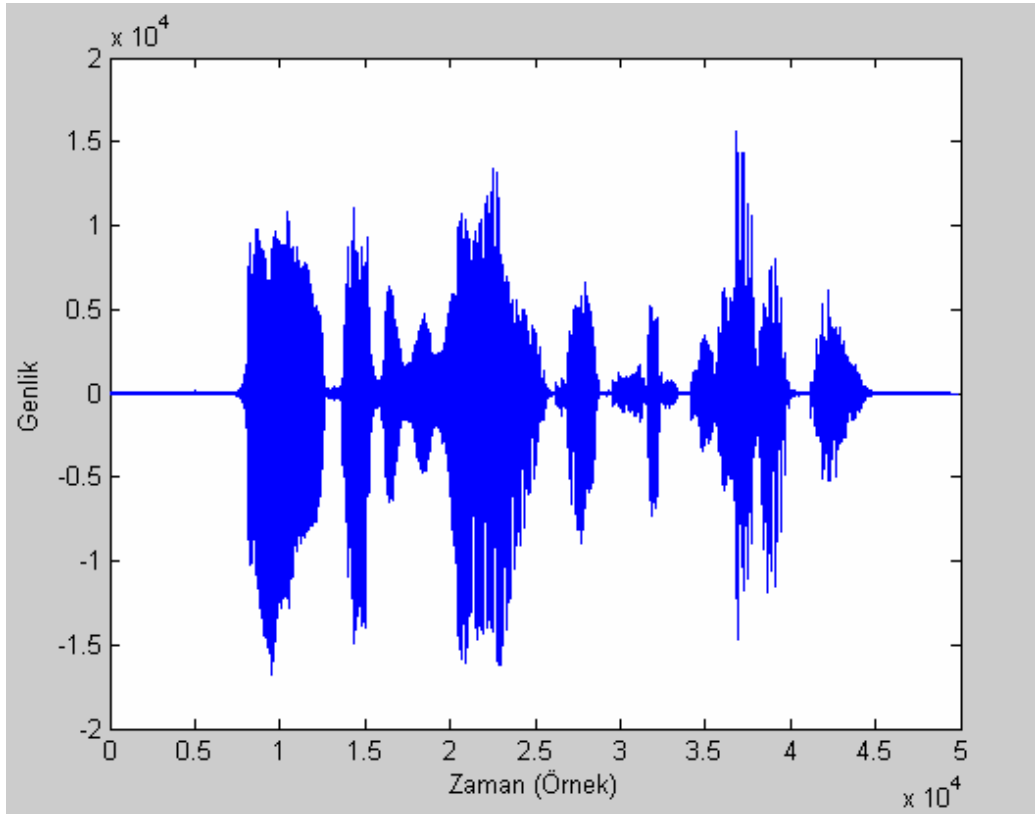
Değerlendirme kriteri olarak;

- Ses sinyalinin gücünün gürültü sinyalinin gücüne oranı (*SGO*),
- Elde edilen sinyalin referans sinyal ile arasındaki *ilinti katsayısı*,
- Sinyalin ortalama değeri,
- En küçük kareler toplamı, ve

- Sinyalin maksimum genlik değerleri hesaplanarak değerlendirme yapılmış, en iyi sonucu veren uygunluk fonksiyonu seğilmiştir.

### Sinyal Gürültü Oranı (SGO)

Sinyal Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio) değerini hesaplayabilmek için, sinyal içerisinde gerçek sesin ve gürültünün olduğu alanların bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, referans mikrofondan alınan ses sinyali (Bkz. Şekil 5.2) görsel olarak incelenmiş ve konuşmanın olmadığı bölümler önceden belirlenmiştir.



Şekil 5.2. 15 mikrofon için referans sinyali

SGO değerinin hesaplanabilmesi için konuşmanın gücü ( $P_s$ ) ve gürültünün gücü ( $P_n$ ) Eş. 5.5 ile hesaplanmıştır.

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{N}, \quad P_n = \frac{\sum_{j=1}^M n_j^2}{M} \quad (5.5)$$

SGO değeri ise, Eş. 5.6 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$SGO = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_s}{P_n} \right) \quad (5.6)$$

SGO değeri yüksek olan çözümün (bireyin) daha iyi olduğu kabul edilmiştir.

### Ortalama değer

Uygunluk fonksiyonu olarak test edilen 2. yöntem, çıkış sinyalinin ortalama değerinin alınmasıdır. Ortalama değer, Eş. 5.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlikte  $Y$  ortalaması hesaplanacak sinyal dizisini,  $M$  dizinin eleman sayısını,  $OD$  ise hesaplanan ortalama değeri göstermektedir. Ortalama değeri yüksek olan bireyin uygunluk değerinin daha iyi olduğu kabul edilmiştir.

$$OD = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y_k \quad (5.7)$$

### İlinti katsayısı

Kromozomların uygunluk değerlendirmesinin yapılmasında kullanılan bir diğer yöntem ise, referans sinyali ile çıkış sinyali arasındaki *çapraz ilinti katsayısıdır*. İlinti katsayısı, 5.8 eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Öncelikle, ilinti katsayısı hesaplanacak  $X$  ve  $Y$  dizilerinin her bir elemanından, Eş. 5.7 ile elde edilen ortalama değerleri çıkarılır. Yüksek ilinti değerine sahip kromozomun uygunluğunun daha iyi olduğu kabul edilmiştir. Birbirine eşit iki dizinin ilinti katsayısı 1'e eşittir.

$$X_k = X_k - OD_X$$

$$Y_k = Y_k - OD_Y$$

$$kor(X, Y) = \frac{\sum_{k=1}^M X_k \cdot Y_k}{\sqrt{\left(\sum_{k=1}^M X_k \cdot X_k\right) \cdot \left(\sum_{k=1}^M Y_k \cdot Y_k\right)}} \quad (5.8)$$

### Maksimum genlik

Popülasyondaki bireyler arasında çıkış sinyalindeki maksimum genliği yüksek olan bireyin uygunluğunun daha iyi olduğu kabul edilerek bu yöntem test edilmiştir.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1. 15 Mikrofon ile Gerçekleştirilen Uygulamalar

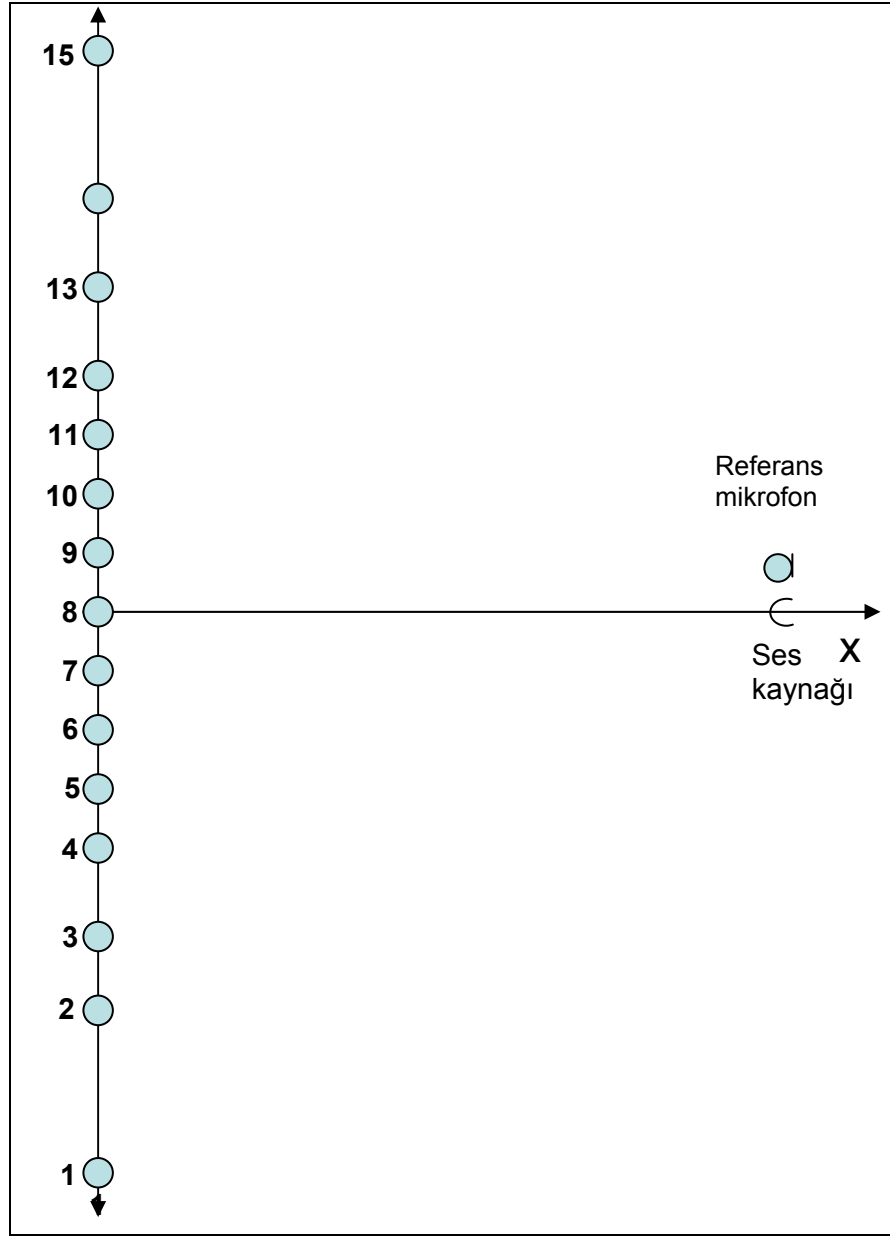
Geliştirilen yöntem, Carnegie Mellon Üniversitesi bilgisayar laboratuvarında 15 adet mikrofon kullanılarak kayıt edilmiş olan ses sinyalleri üzerinde denenmiştir. Mikrofonlara gelen ses bilgileri 16 KHz frekansında örneklenmiştir. Mikrofonların dizilişleri Şekil 6.1’de görüldüğü gibidir. Mikrofonlar arası uzaklık sabit değildir. Şeklin solundaki 1 ile 15 arasındaki numaralar mikrofon numarasını göstermektedir. 8 numaralı mikrofonun bulunduğu koordinat (0;0) olarak kabul edilmiştir.

Mikrofonlar “y” ekseninde sıralı olarak dizilmiş olmalarına rağmen, aralarındaki uzaklık sabit değildir. Bu nedenle, mikrofon pozisyonları tek tek hesaplanmıştır. Mikrofonların tamamının kullanılması yerine, bir takım alt kümelerin kullanılması da mümkündür. Bu çalışmada, mikrofonlardan alt mikrofon grupları oluşturularak, geliştirilen yöntem her bir alt grup için denenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

#### 6.1.1. Mikrofon dizileri

Alt mikrofon gruplarının oluşturulması aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

- 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 numaralı mikrofonlardan 7 mikrofonluk bir grup oluşturulmuştur ve aralarındaki uzaklık 0,04 metredir.
- 3, 4, 6, 8, 10, 12 ve 13 numaralı mikrofonlardan 7 mikrofonluk bir grup oluşturulmuştur ve aralarındaki uzaklık 0,08 metredir.
- 1, 2, 4, 8, 12, 14 ve 15 numaralı mikrofonlardan 7 mikrofonluk bir grup oluşturulmuştur ve aralarındaki uzaklık 0,16 metredir.
- 1, 8 ve 15 numaralı mikrofonlardan 3 mikrofonluk bir grup oluşturulmuştur ve aralarındaki uzaklık 0,48 metredir.



Şekil 6.1. 15 adet mikrofonun yerleşim düzeni

- 1 ve 15 numaralı mikrofonlardan 2 mikrofonluk bir grup oluşturulmuştur ve aralarındaki uzaklık 0,96 metredir.

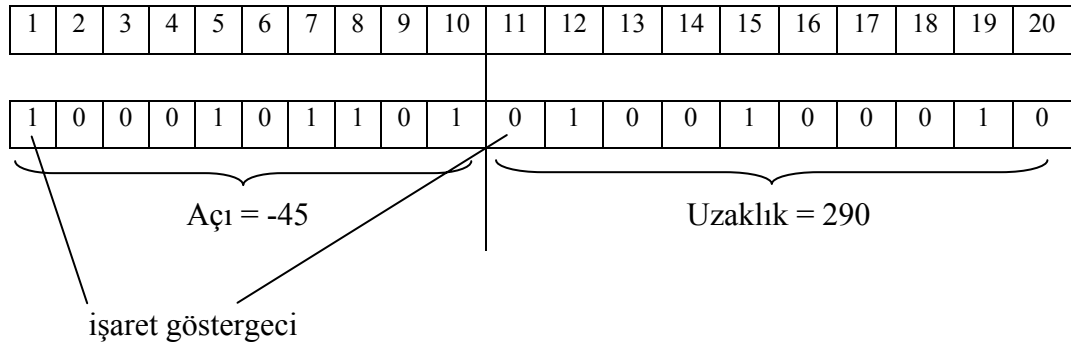
Ses kaynağı olarak kullanılan kişi mikrofonların orta noktasına gelecek şekilde 2.90 metre uzaklıkta bulunmaktadır. Dolayısı ile bu noktanın  $(X, Y)$  koordinatları  $(2,90 ; 0,0)$  olarak alınmıştır.

Ses kaynağına çok yakın bir şekilde ağız mikrofonu yerleştirilerek referans sinyali de kaydedilmiştir.

### 6.1.2. Genetik işlemler

#### Kodlama

Problemin çözüm kümesi olan  $(\theta, d)$  değerlerini temsil etmek için ikili (binary) kodlama yapılmıştır. Açık  $(\theta)$  değeri -90 ile +90 arasında, uzaklık  $(d)$  değeri ise 0 ile 400 (santimetre) arasındadır. Bu sebeple, genişliği 10 bit olan bir kromozom yapısı kullanılmıştır. Onluk sistemdeki sayılar ikili sayıya dönüştürülerek kromozomlar (bireyler) oluşturulmuştur. Kromozom içindeki her bir genin birinci biti işaret göstergesi olarak kullanılmıştır.  $(\theta=-45, d=290)$  olan bir çözümün ikili düzende kromozom olarak kodlanması aşağıdaki şekilde yapılmıştır.



#### Çaprazlama

Mevcut popülasyondan çaprazlanacak bireylerin seçimi amacıyla, Bölüm 4.5'te açıklanan *rulet tekerleği* yöntemi uygulanmıştır.

Çaprazlama, Bölüm 4.5'te belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Tek noktalı ve iki noktalı çaprazlama yöntemleri kullanılmıştır. Tek noktalı çaprazlamada, 1 ile 19 arasında rasgele bir sayı seçilir. Seçilen sayıdan önceki bölüm 1 nci bireyden, sonrası ise 2 nci bireyden alınarak yeni birey oluşturulur. Örnek: çaprazlama noktası 5 ise,

k1 ve k2 kromozomlarının çaprazlanması sonucu y1 ve y2 kromozomları aşağıdaki şekilde elde edilir.

k1 : 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0

k2 : 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1

Y1 : 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1

Y2 : 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0

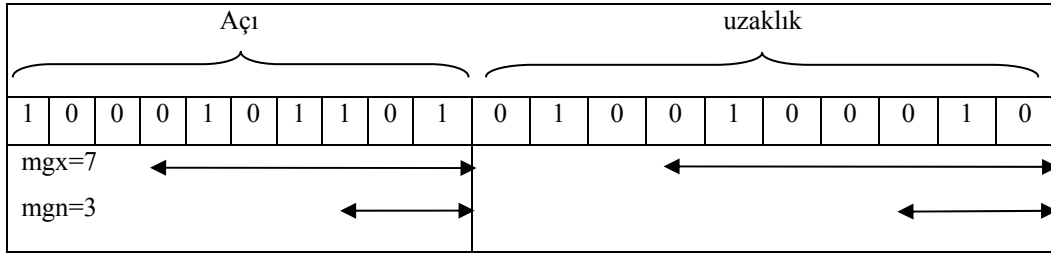
Çaprazlamanın hangi koşullarda yapılacağını tespit etmek amacıyla *çaprazlama oranı* parametresi kullanılmıştır. Seçilen iki kromozomun çaprazlanabilmesi için, 0 ile 1 arasında rasgele seçilen bir sayının, çaprazlama oranından daha düşük olması gerekmektedir. Aksi takdirde seçilen bu iki birey çaprazlamaya tabi tutulmadan mutasyona uğrattılır ve sonraki popülasyona aktarılır. Bu çalışmada *çaprazlama oranı* 0.80 olarak alınmıştır.

### Mutasyon

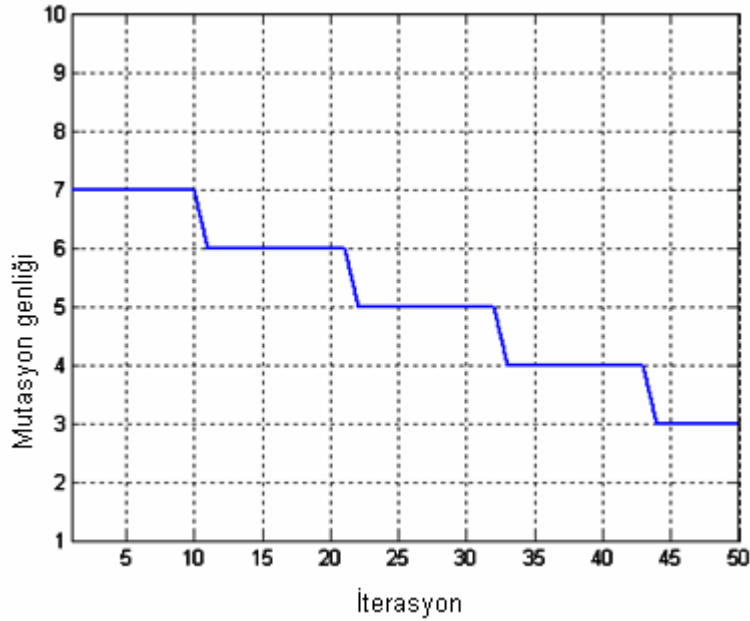
Çaprazlama sonucu elde edilen yeni bireyler yeni popülasyona aktarılmadan önce mutasyon işlemine tabi tutulmuştur. Mutasyon işlemi, yeni nesildeki bireylerin ebeveynlerinden aldıkları özelliklerin çok küçük oranda değişime uğratılması şeklinde gerçekleştirilir. *Mutasyon oranı* olarak çok küçük bir sayı (0.05) belirlenmiştir. Kromozomdaki her bir değer (bit) için 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı seçilir. Seçilen sayı *mutasyon oranından* daha küçük ise, ilgili bitin değeri 0 ise 1'e, 1 ise 0'a değiştirilir.

Mutasyon işleminin tanımına uygun olması için, *mutasyon genliği* kavramı getirilmiştir. Bu kavram sayesinde, programın başlangıcında mutasyon işleminin etkisi daha büyük iken, programın sonlarına doğru *mutasyon genliği* azaltılarak, mevcut çözümün yakınlarında arama yapma zorunluluğu getirilmiştir. Bunun sonucu olarak, genetik çeşitlilik sağlanmakla birlikte, algoritmanın daha düzgün bir şekilde yakınsaması sağlanmıştır. Değişken mutasyon genliği işlemi Şekil 6.2'de detaylı

olarak gösterilmiştir. Mutasyon genliği başlangıçta “7” iken, sonunda “3” olmaktadır. 50 iterasyonluk bir çalışma için mutasyon genliğinin değişim grafiği Şekil 6.3’te görüldüğü gibidir.



Şekil 6.2. Değişken mutasyon genliği uygulaması



Şekil 6.3. Mutasyon genliği değişim grafiği

### Uygunluk fonksiyonu

Popülasyondaki her bir çözüm için açı ve uzaklık değerine göre mikrofon sinyallerine gecikme uygulanarak üst üste toplandıktan (Eş. 5.4) sonra uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Uygunluk fonksiyonu olarak;

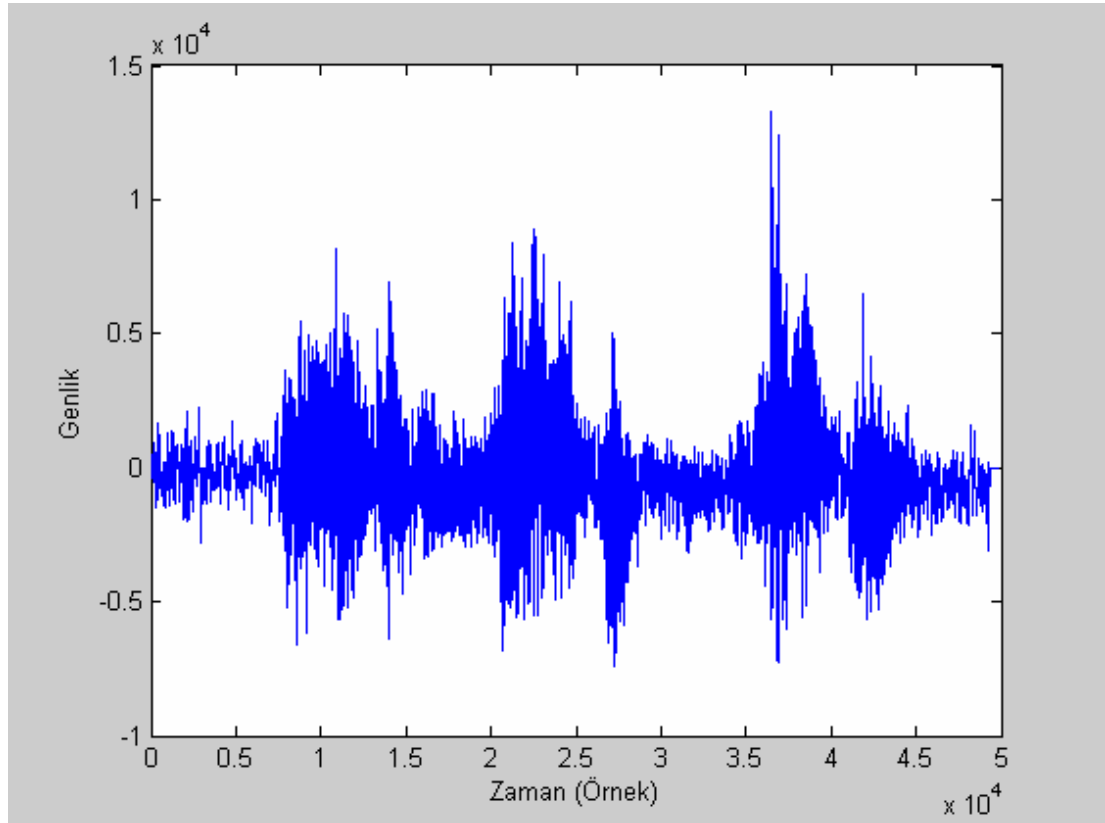
- Ses sinyalinin gücünün gürültü sinyalinin gücüne oranı (*SNR*),
- Elde edilen sinyalin referans sinyal ile arasındaki *çapraz ilinti katsayısı*,

- Sinyalin ortalama değeri,
- En küçük kareler toplamı, ve
- Sinyalin maksimum genliği değerleri hesaplanarak değerlendirme yapılmış, en iyi sonucu veren uygunluk fonksiyonu seçilmiştir.

Test edilen uygunluk fonksiyonlarının hepsi kabul edilebilir, yani odak noktasına yakın bir sonuç vermelerine rağmen, en iyi sonucu çapraz ilinti katsayısı yönteminin verdiği tespit edilmiştir. İlerleyen bölümlerde, diğer parametreler aynı kalmak kaydıyla farklı uygunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlar verilecektir.

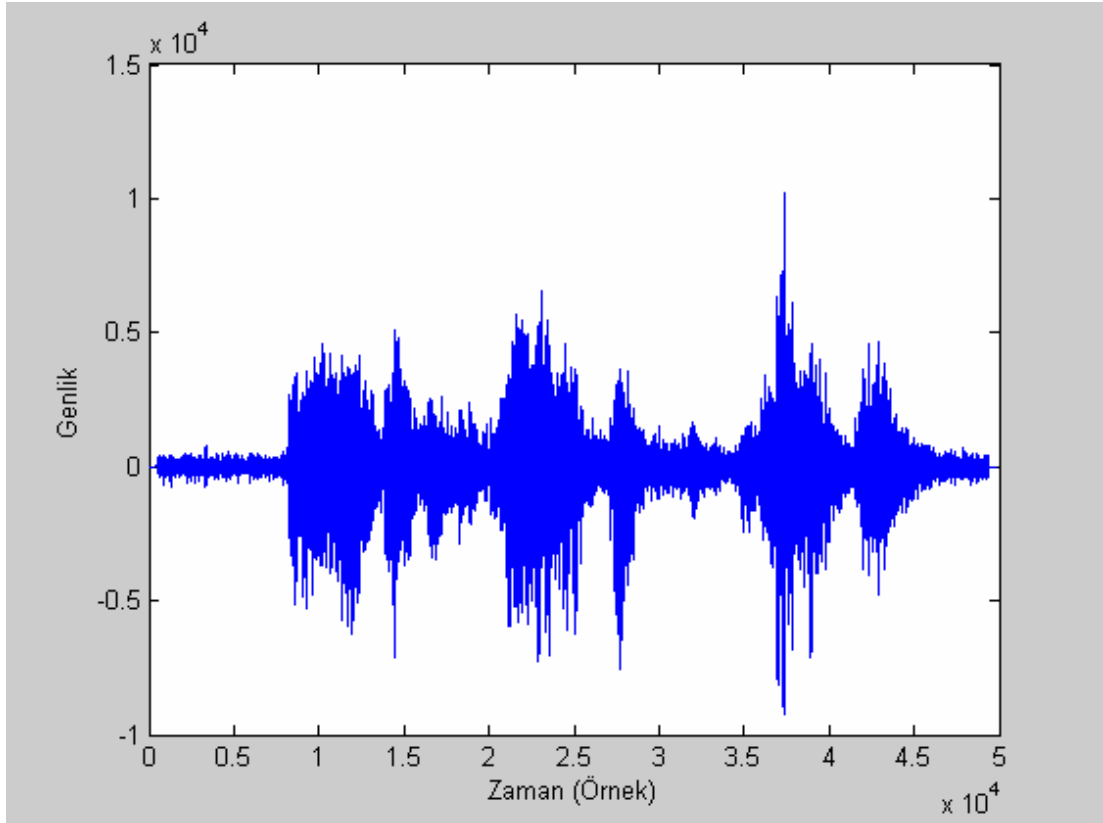
### 6.1.3. Çeşitli mikrofon kombinasyonları ile yapılan uygulamalar

Mikrofon dizilerinden alınan ses sinyallerine her hangi bir işlem yapmadan önce ön süzgeçleme işlemi uygulanmıştır.



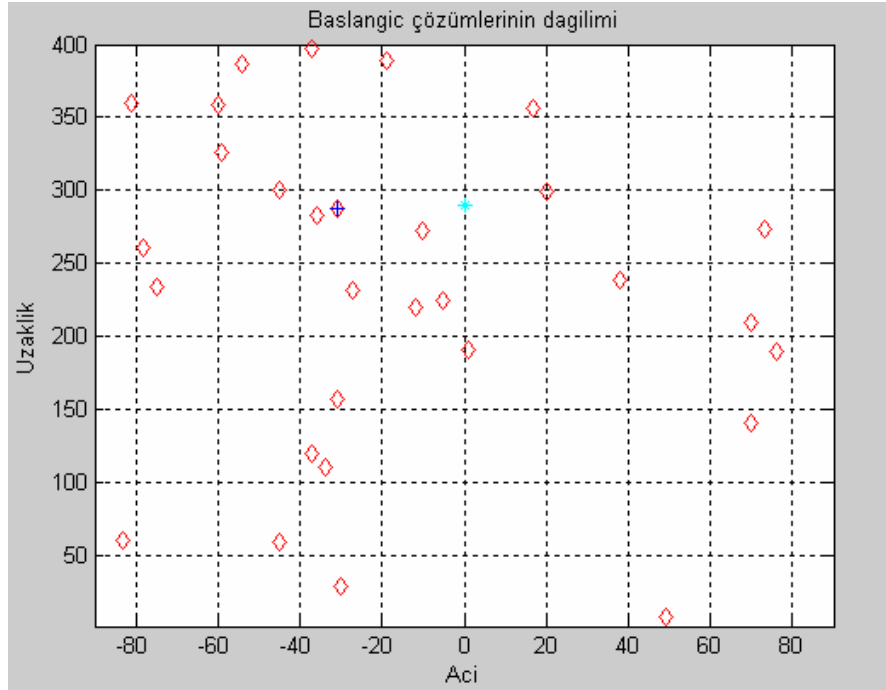
Şekil 6.4. Giriş sinyaline süzgeç uygulanmadan önceki görünümü

Ön işlem olarak, 400 Hz altındaki frekansları bastırarak olan bir yüksek geçiren süzgeç kullanılmıştır. Mikrofon dizisindeki 1 numaralı mikrofondan alınan sinyalin süzgeç uygulanmadan önceki grafiği Şekil 6.4’de, süzgeç uygulandıktan sonraki grafiği ise Şekil 6.5’de görülmektedir.

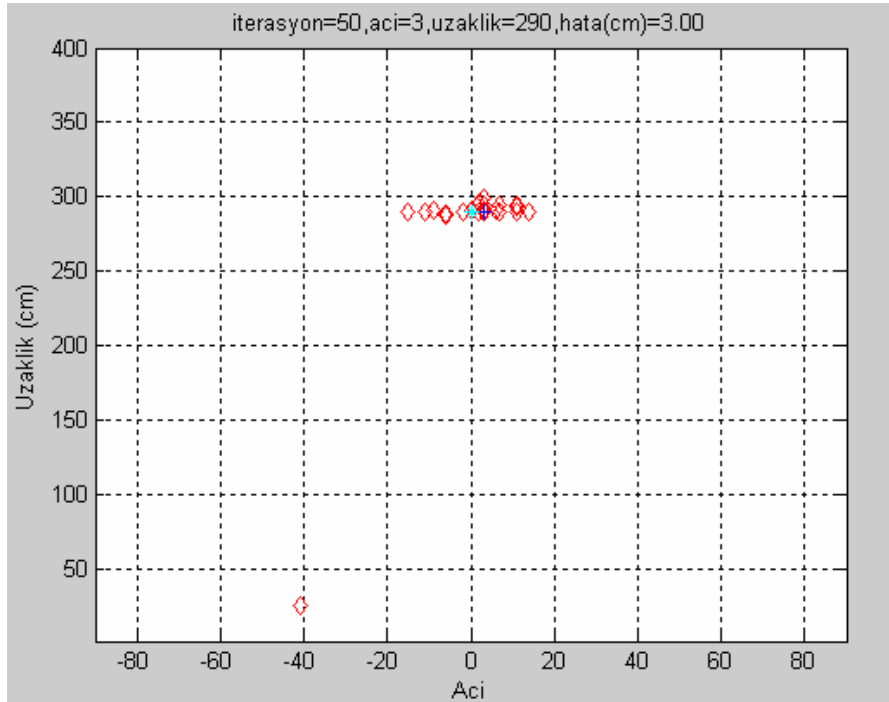


Şekil 6.5. Giriş sinyalinin süzgeçleme işleminden sonraki görünümü

Şekil 6.1’deki 15 mikrofondan alınan ses bilgilerinin tamamı kullanılarak elde edilen sonuç Şekil 6.6’da görülmektedir. Deneysel çalışmalar için ses bilgisindeki 10000 örnek kullanılmıştır. Örnekleme frekansı 16000 Hz olduğu için, 10000 örnek 0,625 saniyelik ses bilgisine karşılık gelmektedir. Uygunluk fonksiyonu olarak *ilinti katsayısı*, popülasyon büyüklüğü olarak 30 seçilmiştir. Şekil 6.6(a)’da başlangıç çözümleri, Şekil 6.6(b)’de ise 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç verilmiştir.



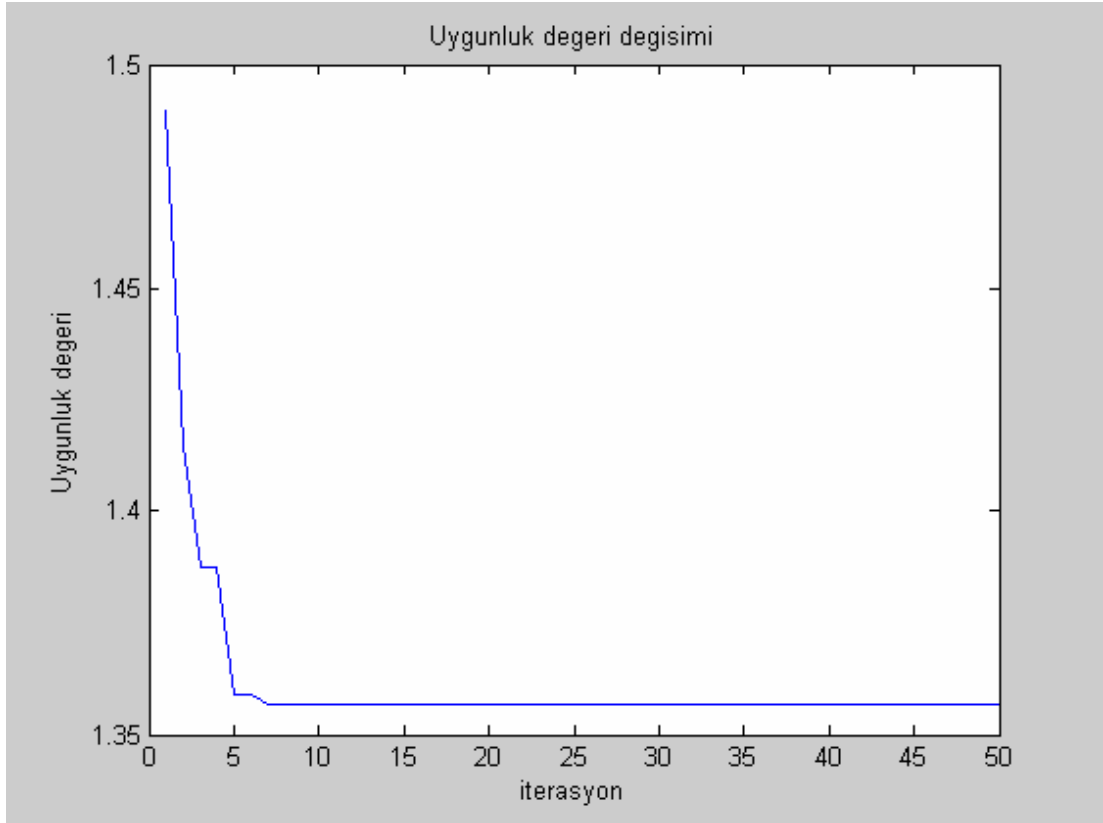
(a)



(b)

Şekil 6.6. 15 mikrofon kullanılması ile elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef konum

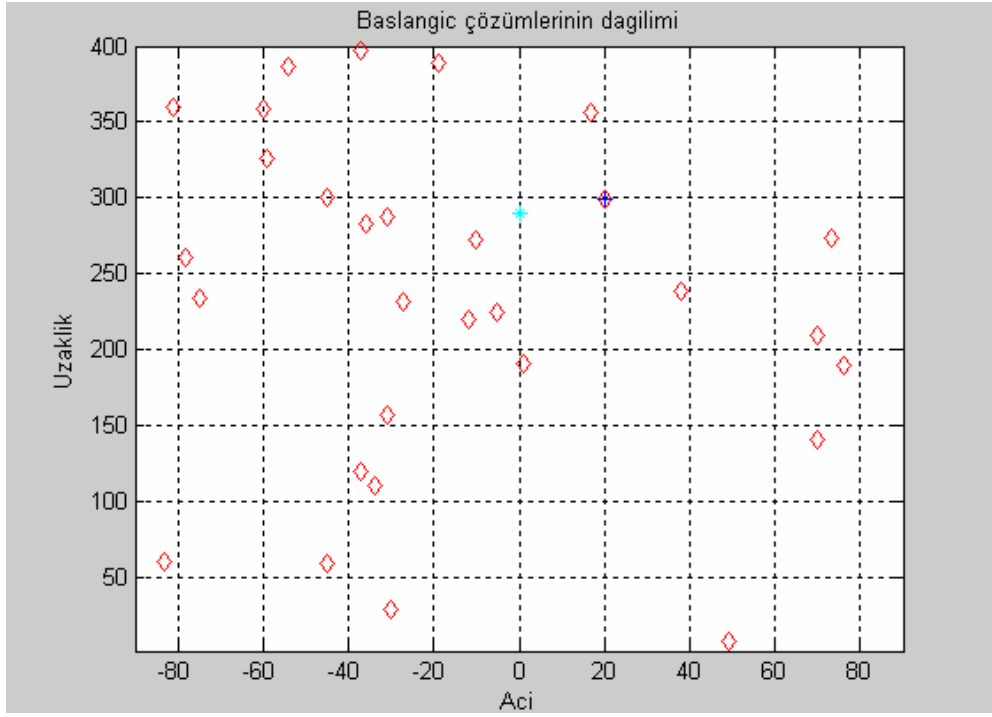


(c)

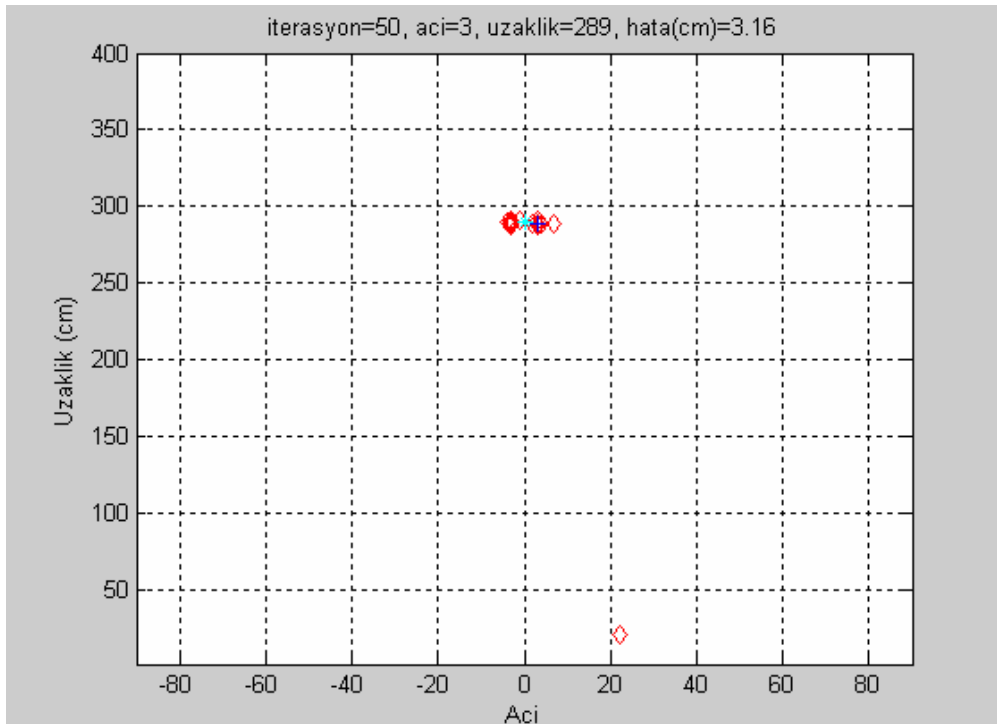
Şekil 6.5. (Devam) 15 mikrofon kullanılması ile elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

50 iterasyon sonunda 0.03 metre hata ile çözüme ulaşılmıştır. Ancak, Şekil 6.6(c)'de görüldüğü gibi, yakınsama 15. iterasyon civarında gerçekleşmiştir.

Mikrofonlardan sadece 7 tanesi (1, 2, 4, 8, 12, 14 ve 15 no'lu mikrofonlar) kullanılarak elde edilen sonuç Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu kombinasyonda mikrofonlar arası uzaklık 0,16 metredir. Popülasyon büyüklüğü için, Eş. 4.1 ile önerilen değer kullanılmıştır. Bu durumda popülasyon büyüklüğü 30, çaprazlama oranı 0.8, mutasyon oranı 0.05, uygunluk fonksiyonu olarak *ilinti katsayısı* alınmıştır. 50 iterasyon sonunda yaklaşık 0.031 metre hata ile hedefe ulaşılmıştır. Daha az mikrofon kullanarak bir önceki adımda ulaşılan hedefe çok yakın bir sonuç elde edilmiştir.



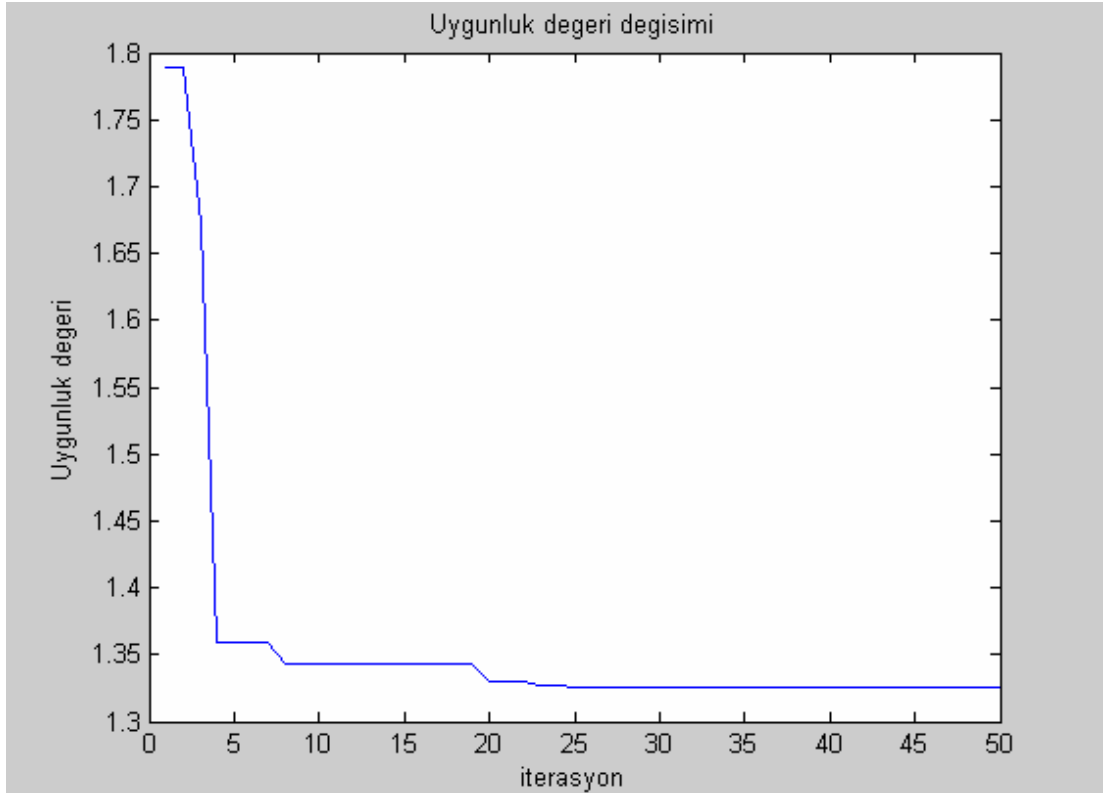
(a)



(b)

Şekil 6.7. 7 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç, (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef konum



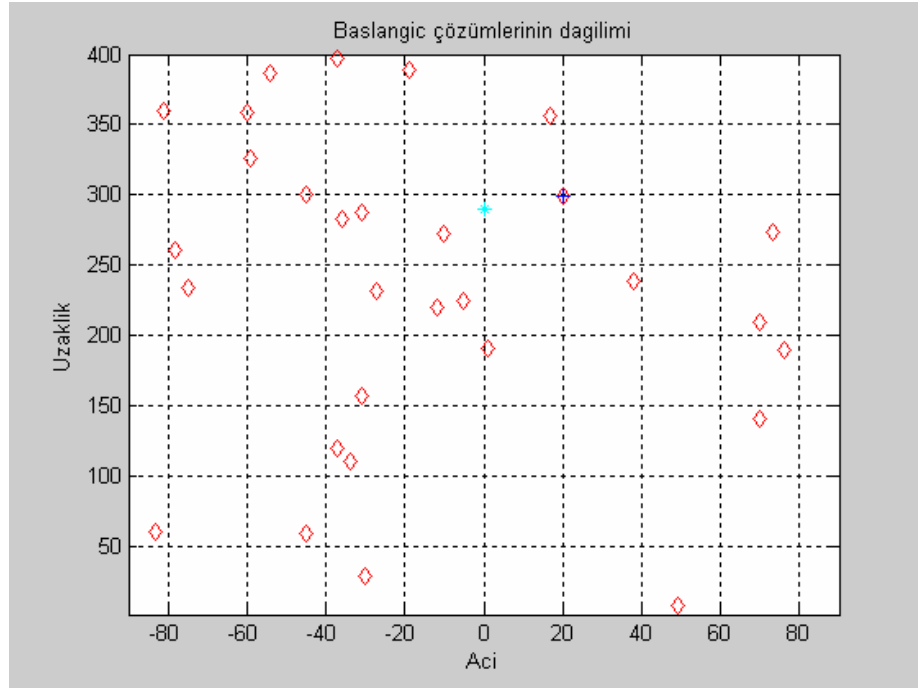
(c)

Şekil 6.7.(Devam) 7 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç, (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

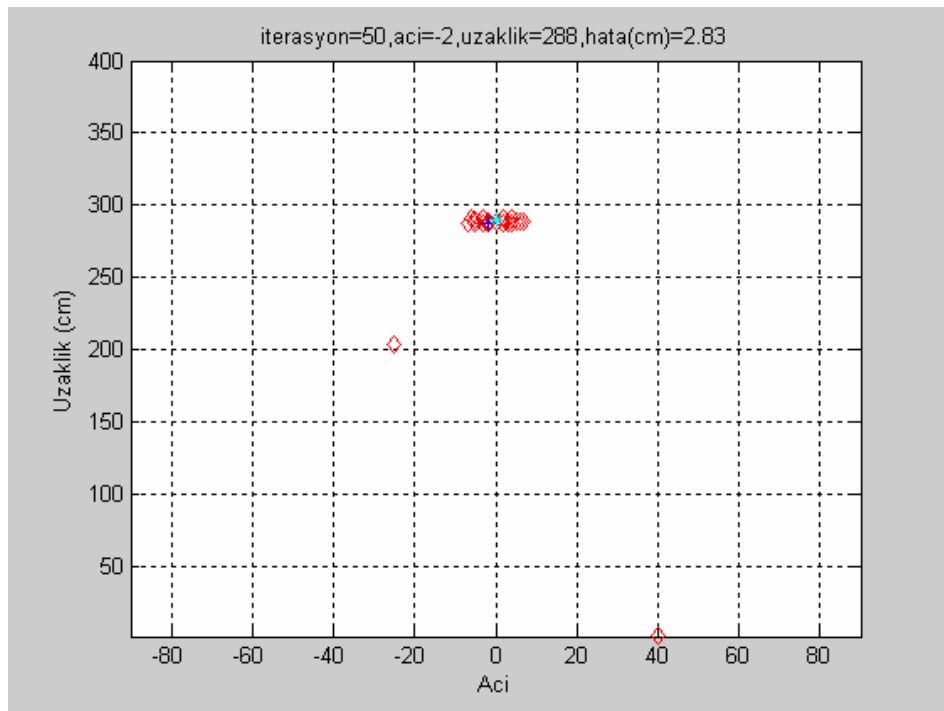
Şekil 6.8'de ise, sadece 3 mikrofon (1, 8 ve 15 numaralı mikrofonlar) kullanılarak elde edilen sonuç görülmektedir. Popülasyon büyüklüğü 30, çaprazlama oranı 0.8, mutasyon oranı 0.05, uygunluk fonksiyonu olarak *ilinti katsayısı* alınmıştır.

Sadece 3 adet mikrofon kullanılarak 0.03 metre hata ile hedefe ulaşılmıştır. Ses kaynağı yerinin belirlenmesinde az sayıda mikrofonun yeterli olması hesaplama maliyetini düşürmektedir.

Ses kaynağının yerinin (geliş açısı ve uzaklık) belirlenmesinden sonra, mikrofon dizisini bu noktaya yönlendirmek ve odaklamak için mikrofonlara uygulanacak gecikme miktarları geometrik yöntemlerle hesaplanmaktadır. Ses kaynağının yönünün belirlenmesi amacıyla genetik algoritma dışında farklı yöntemler de kullanılmaktadır.



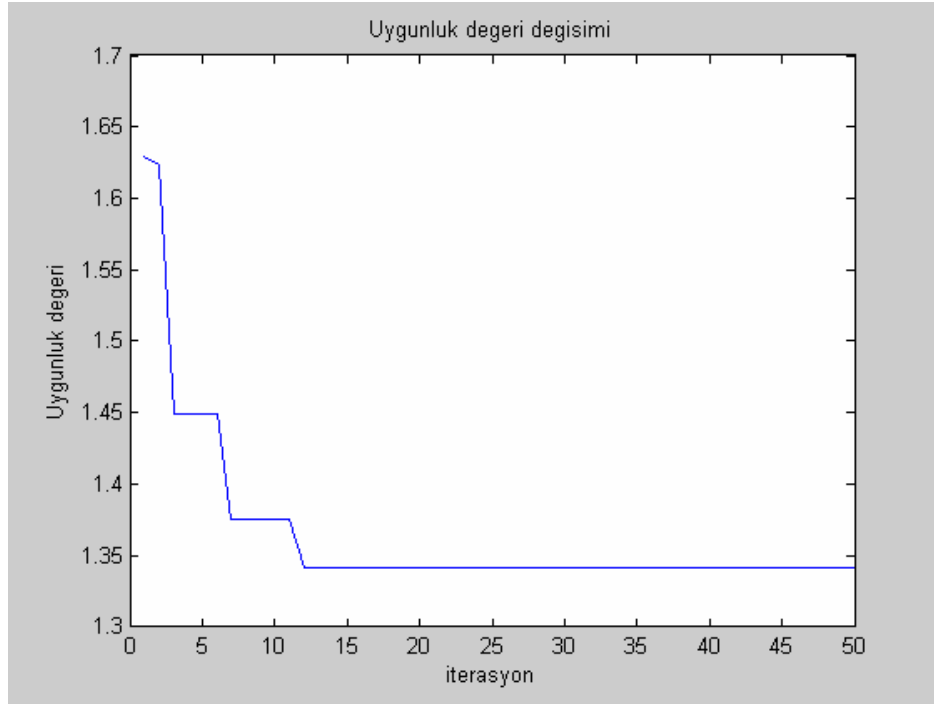
(a)



(b)

Şekil 6.8. 3 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç, (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

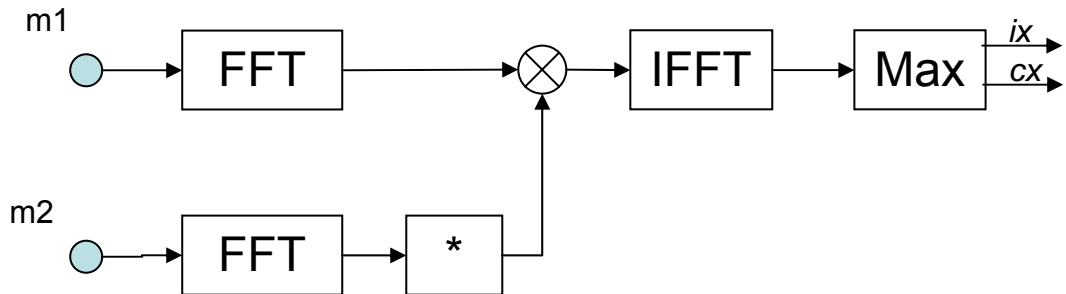
◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef konum



(c)

Şekil 6.8.(Devam) 3 mikrofon kullanılarak elde edilen sonuç (a) başlangıç çözümlerinin dağılımı, (b) 50 iterasyon sonunda elde edilen sonuç, (c) iterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi

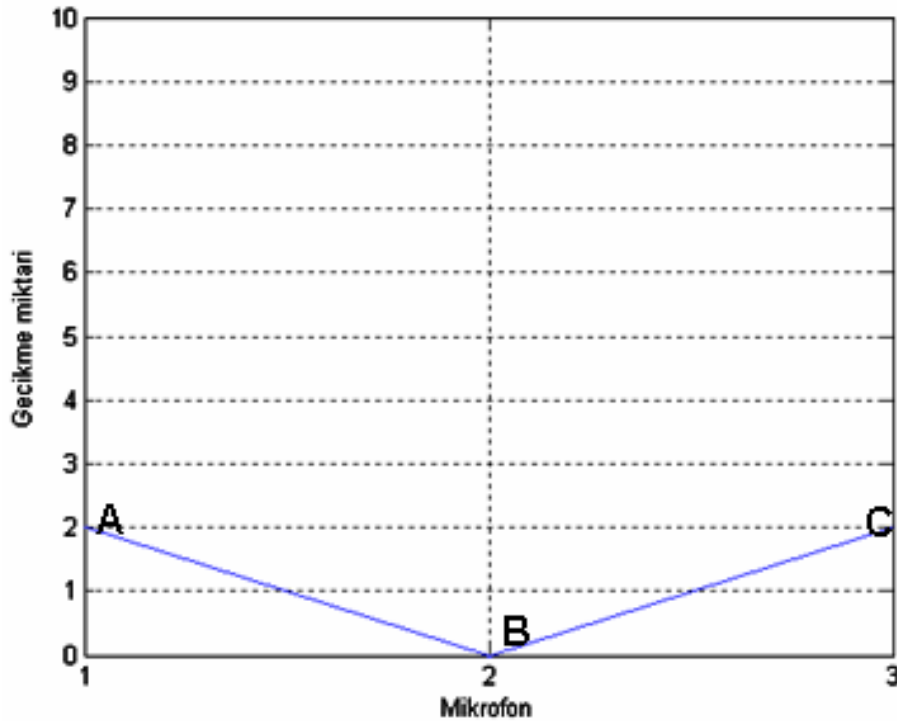
Mikrofonlar arası gecikme miktarlarının, çapraz ilinti yöntemi ile hesaplanması mümkündür (Şekil 6.9). İki mikrofon arasındaki gecikme miktarını belirlemek için, öncelikle her bir mikrofondan alınan sinyallerin FFT değerleri hesaplanır. İkinci sinyalin FFT değerinin karmaşık eşleniği ile birinci sinyalin FFT sonucu çarpılarak



Şekil 6.9. Mikrofonlar arası gecikmenin çapraz ilinti yöntemiyle hesaplanması  
\* karmaşık eşleniği göstermektedir

ters FFT işlemi uygulanır. Elde edilen vektör dizisinin en büyük değere sahip indisi iki mikrofon arasındaki gecikme miktarını gösterir. Valin ve ark., mikrofonlar arasındaki geliş zamanı farkını hesaplamak için çapraz ilinti yöntemini kullanmışlardır [25].

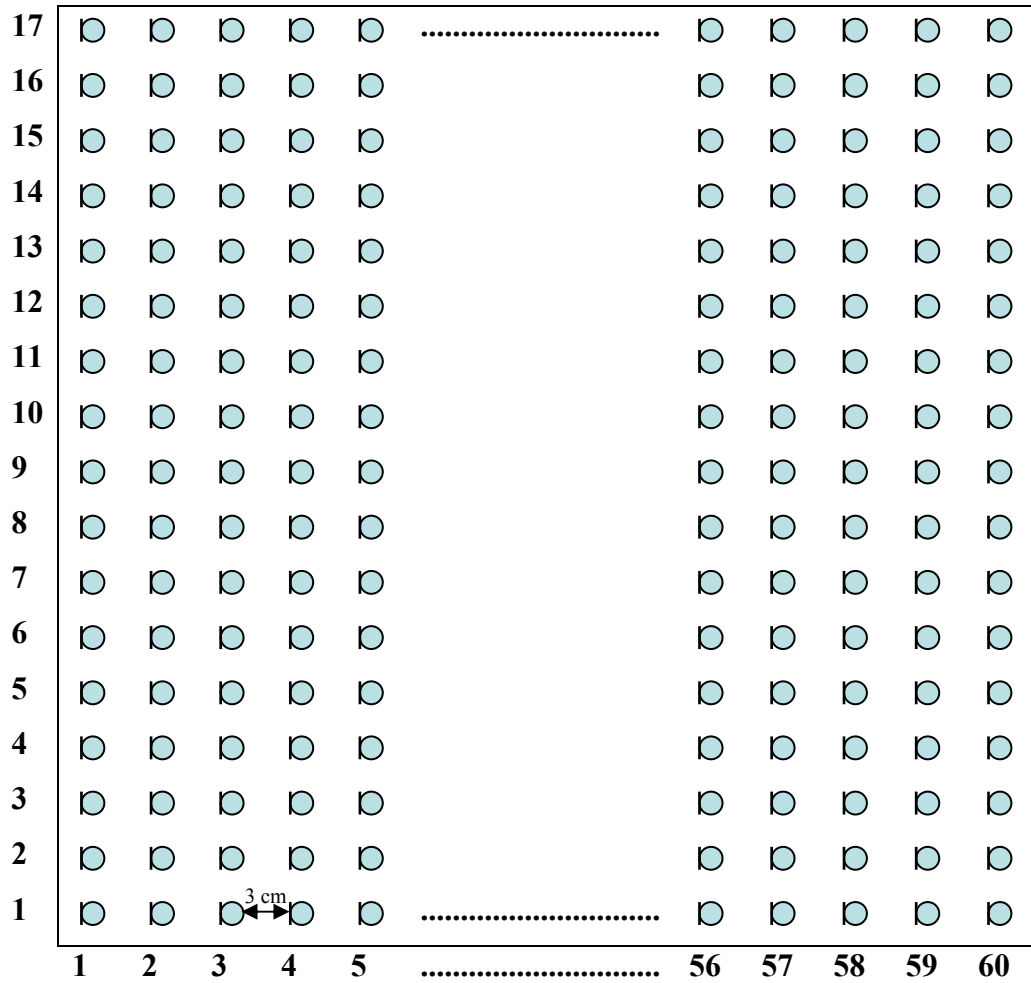
Şekil 6.1’de görülen 1, 8 ve 15 numaralı mikrofonlardan alınan sinyallerin gecikme miktarları çapraz ilinti yöntemi ile hesaplanmış ve elde edilen değerler Şekil 6.10’da verilmiştir. Merkezdeki mikrofon referans olarak kabul edildiği için bu mikrofonun (2 numaralı mikrofon) gecikme miktarı 0 olarak alınmıştır. Şekil 6.10’da verilen grafik incelendiğinde, 1 ve 3 numaralı mikrofonlardaki gecikme miktarlarının 2 numaralı merkez mikrofona göre simetrik olduğu görülmektedir. Bu durumda, sesin geliş açısının 0 derece olduğunu söylemek mümkündür. Gecikme miktarlarının simetrik olmadığı durumlarda ise,  $m(ABC)$  açısının açı ortayı sesin geliş açısını gösterecektir. Bu açı geometrik yöntemlerle kolayca hesaplanabilmektedir.



Şekil 6.10. Çapraz ilinti yöntemi ile hesaplanan gecikme miktarları

## 6.2. 1020 Mikrofon ile Gerçekleştirilen Deneyler

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 (Bkz. Şekil 2.8) ile kayıt edilen ses bilgisi üzerinde denenmiştir. Mikrofonların dizilimi Şekil 6.11’de görüldüğü gibidir.



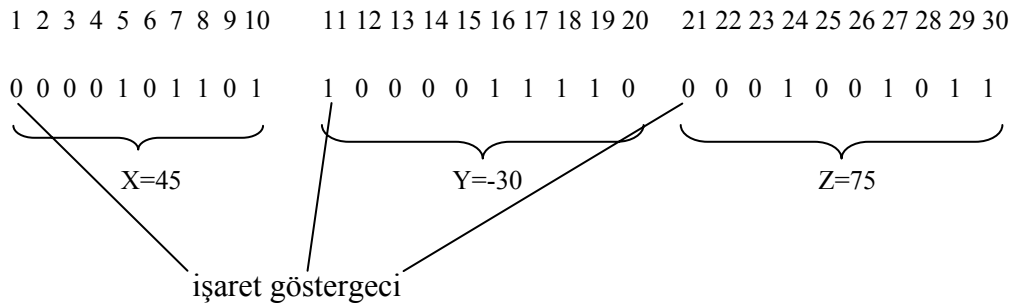
Şekil 6.11. 1020 adet mikrofondan oluşan mikrofon dizisi

Mikrofon dizisi, her biri 60 adet mikrofondan oluşan 17 sıralık grubun üst üste yerleştirilmesi ile elde edilmiştir. Mikrofonlar arasında yatay ve dikey olarak 3 santimetre mesafe bulunmaktadır.

### 6.2.1. Genetik işlemler

#### Kodlama

Problemin çözüm kümesi olan (X,Y,Z) değerlerini temsil etmek için ikili (binary) kodlama yapılmıştır. X değeri 0 ile 200 (santimetre) arasında, Y değeri -100 ile 100 (cm) arasında, Z değeri ise -100 ile 100 (santimetre) arasında olacaktır. Bu değerleri temsil etmek üzere, uzunluğu 30 bit olan bir kromozom yapısı kullanılmıştır. Onluk sistemdeki sayılar ikili sayıya dönüştürülerek kromozomlar (bireyler) oluşturulmuştur. Kromozom içindeki her bir genin ilk biti işaret göstergesi olarak kullanılmıştır. (X=45, Y=-30, Z=75) olan bir çözümün ikili düzende kromozom olarak kodlanması aşağıdaki şekilde yapılmıştır.



#### Çaprazlama

Mevcut popülasyondan çaprazlanacak bireylerin seçimi amacıyla, bölüm 3.5'te açıklanan *rulet tekerleği* yöntemi uygulanmıştır. Seçilen ebeveyn bireylerden yeni bireyler elde etmek için tek noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

#### Mutasyon

Her hangi bir nesilde mevcut olan iyi (uygunluk değeri yüksek) bireylerin, çaprazlama sonucunda popülasyonda baskınlık sağlayarak genetik çeşitliliği azaltmasını ve erken yakınsamayı engellemek amacıyla mutasyon işlemi

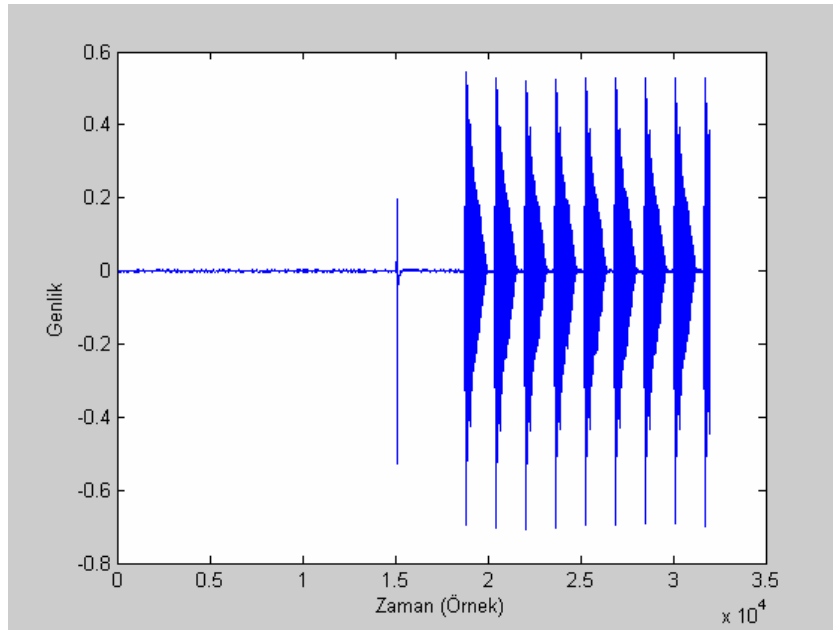
uygulanmıştır. Mutasyon işleminde, Bölüm 3.6'da açıklanan değişken genlikli mutasyon yöntemi kullanılmıştır.

### Uygunluk fonksiyonu

Popülasyondaki her bir çözüm için açı ve uzaklık değerine göre mikrofon sinyallerine gecikme uygulanarak üst üste toplandıktan (Bkz. Eş. 5.4) sonra uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Uygunluk fonksiyonu olarak, Bölüm 6.1.2'de belirtilen değerler hesaplanmıştır.

### **6.2.2. Mikrofon kombinasyonu ile gerçekleştirilen uygulamalar**

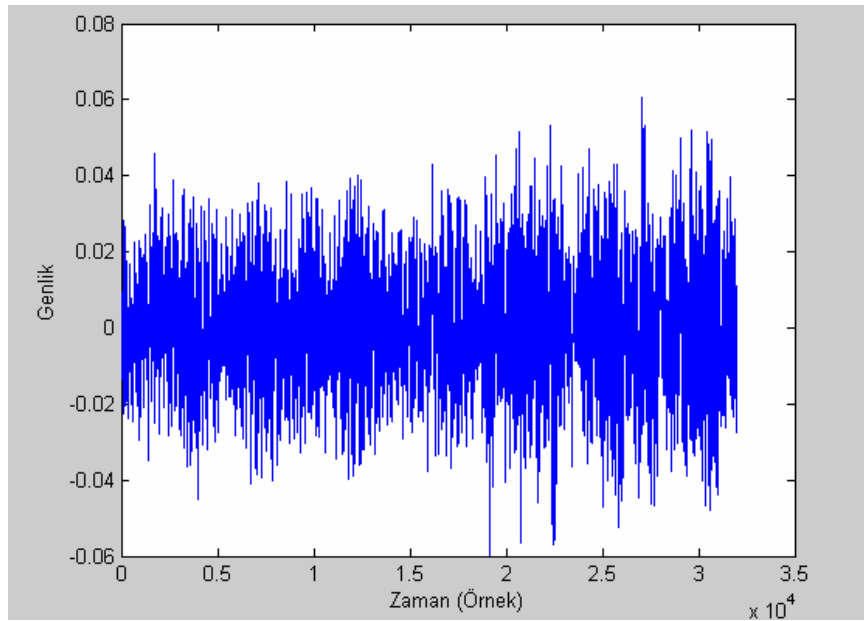
Geliştirilen yöntemin mikrofon dizileri üzerinde denenmesi için, laboratuvarında kayıt edilen cıvıltı (chirp) sesi kullanılmıştır. Referans mikrofondan kayıt edilen ses sinyalinin zaman ekseninde genlik grafiği Şekil 6.12'de görülmektedir. Yatay eksen zamanı (örnekleme), dikey eksen ise sinyalin genliğini göstermektedir. Örnekleme frekansı 16000 Hertz olduğu için, 2 saniyelik ses bilgisi 32000 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir.



Şekil 6.12. Referans sinyali

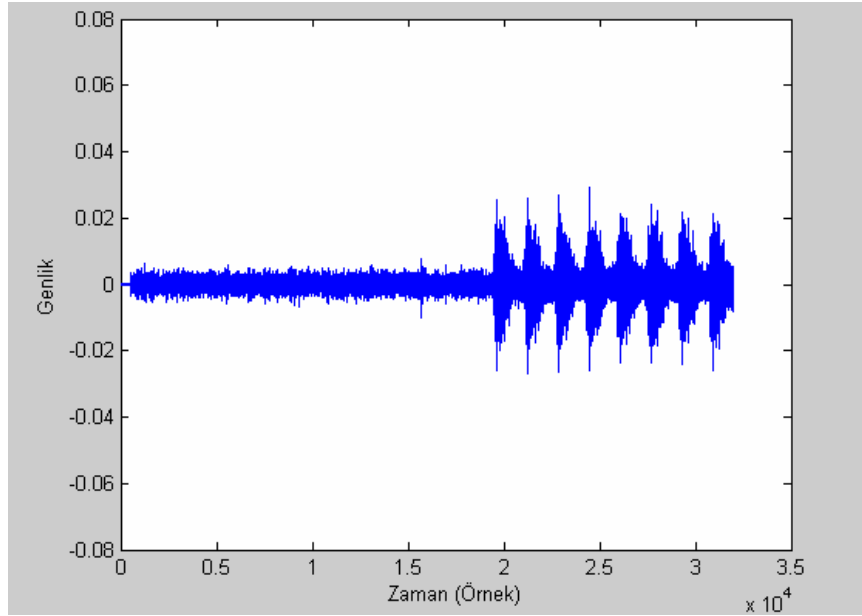
Her bir mikrofonun ve ses kaynağının konumu üç boyutlu düzlemde (X,Y,Z) değerleri ile gösterilmiştir. Mikrofonların konumları önceden bilinmektedir. Test amacıyla kullanılan ses kaynağı ise, (137; -88; 25) ile belirtilen konumda bulunmaktadır.

Ses bilgileri içerisindeki istenmeyen gürültüleri ayıklamak amacıyla ön süzgeçleme işlemi uygulanmıştır. Çok küçük frekansları bastırmak için yüksek geçiren süzgeç kullanılmıştır. Mikrofon dizisi içerisindeki 1 numaralı mikrofondan kayıt edilen ses bilgisi üzerinde süzgeç uygulanmadan önceki durumu Şekil 6.13'de, süzgeç uygulandıktan sonraki görünümü ise verilmiştir.



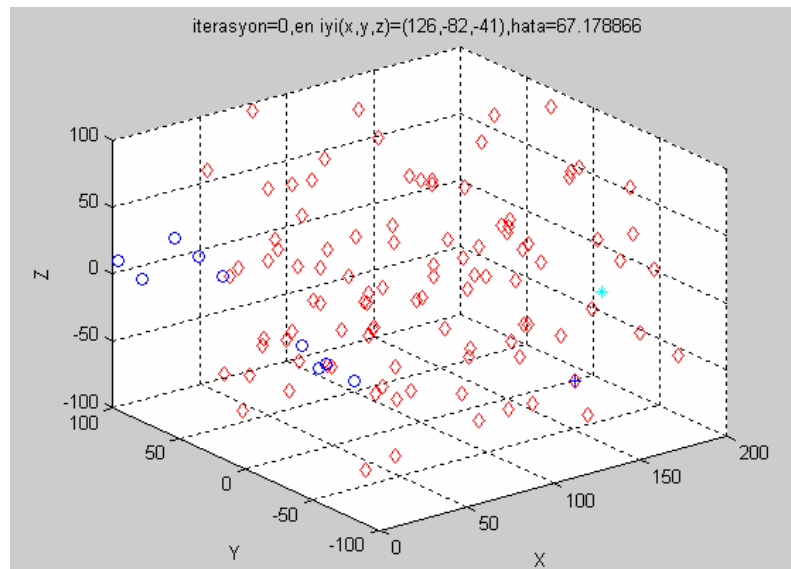
Şekil 6.13. Giriş sinyaline süzgeç uygulanmadan önceki görünümü

1020 adet mikrofon içerisinde rasgele seçilen 9 adet mikrofon ile gerçekleştirilen deneme sonuçları aşağıda verilmiştir. Başlangıç popülasyonunun dağılımı Şekil 6.15'te, 30 adım sonra elde edilen en iyi sonuç Şekil 6.16'da, 30 adım boyunca en iyi bireyin uygunluk değerinin değişimi Şekil 6.17'de verilmiştir. Popülasyon büyüklüğü olarak 100, iterasyon sayısı 30, mikrofon sayısı 9, çaprazlama oranı 0.90 , mutasyon oranı 0.05 , uygunluk fonksiyonu olarak ilinti katsayısı alınmıştır. 30 iterasyon sonunda 0,17 metre hata ile ses kaynağının yeri tahmin edilmiştir.



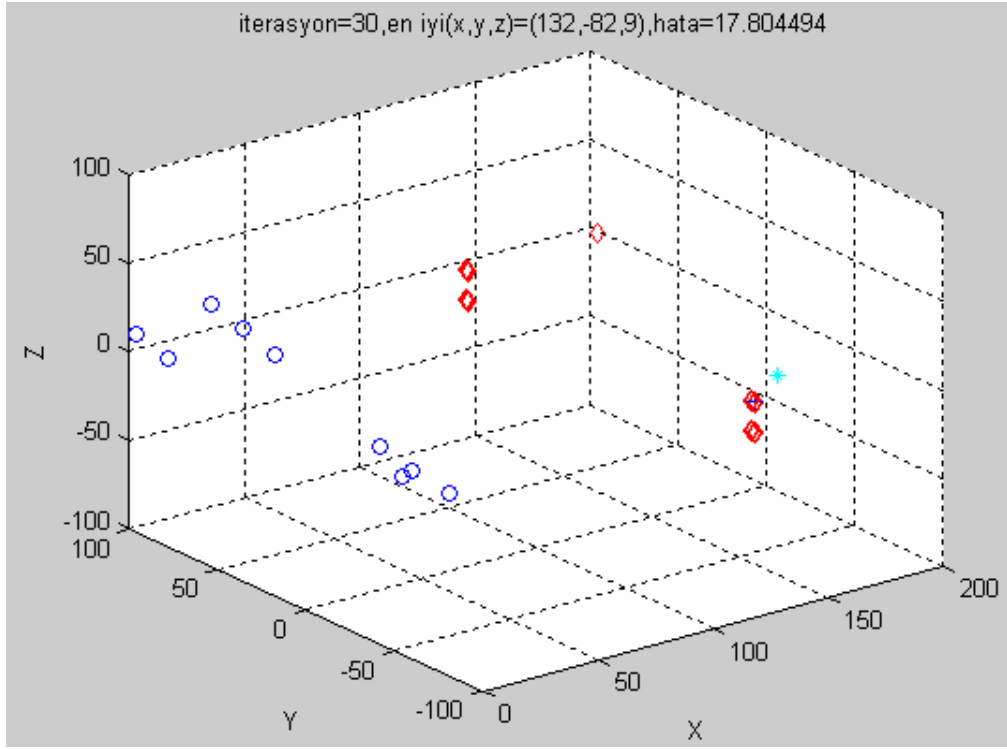
Şekil 6.14. Giriş sinyaline süzgeç uygulama işleminden sonraki görünümü

Aynı parametreler kullanılarak, ancak uygunluk fonksiyonu olarak *SGO* değerinin alınması ile elde edilen sonuç Şekil 6.18’de, uygunluk fonksiyonu olarak *ortalama değer* alınması ile elde edilen sonuç ise Şekil 6.19’da verilmiştir. Bu durumda 0,13 metre hata ile ses kaynağının noktasal yeri tahmin edilmiştir.



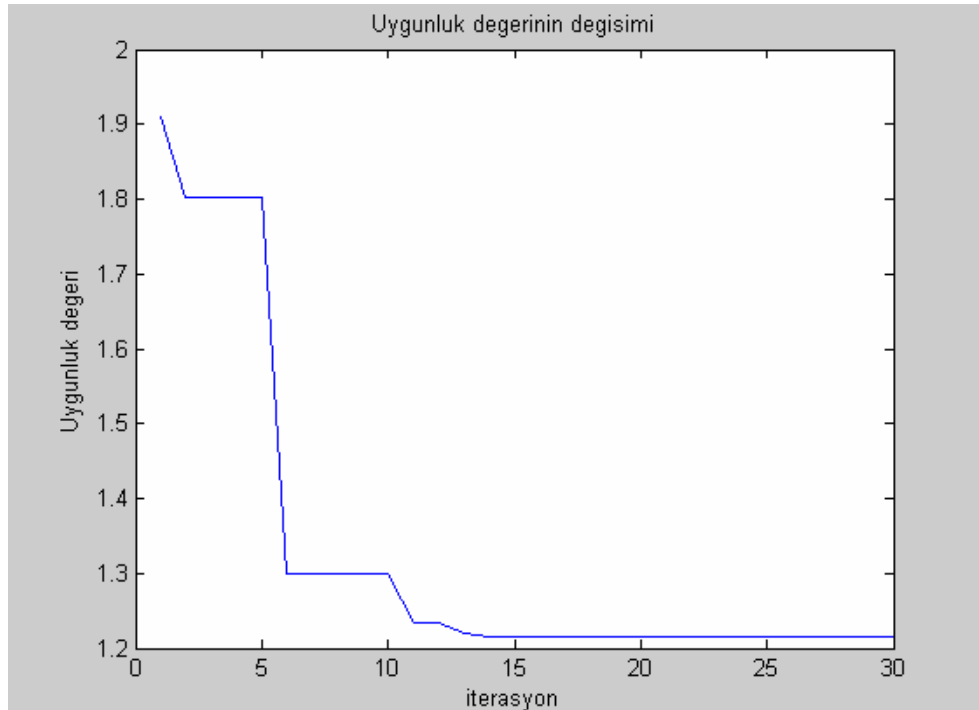
Şekil 6.15. Başlangıç çözümlerinin dağılımı

◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef koordinat, ○ mikrofonların konumu

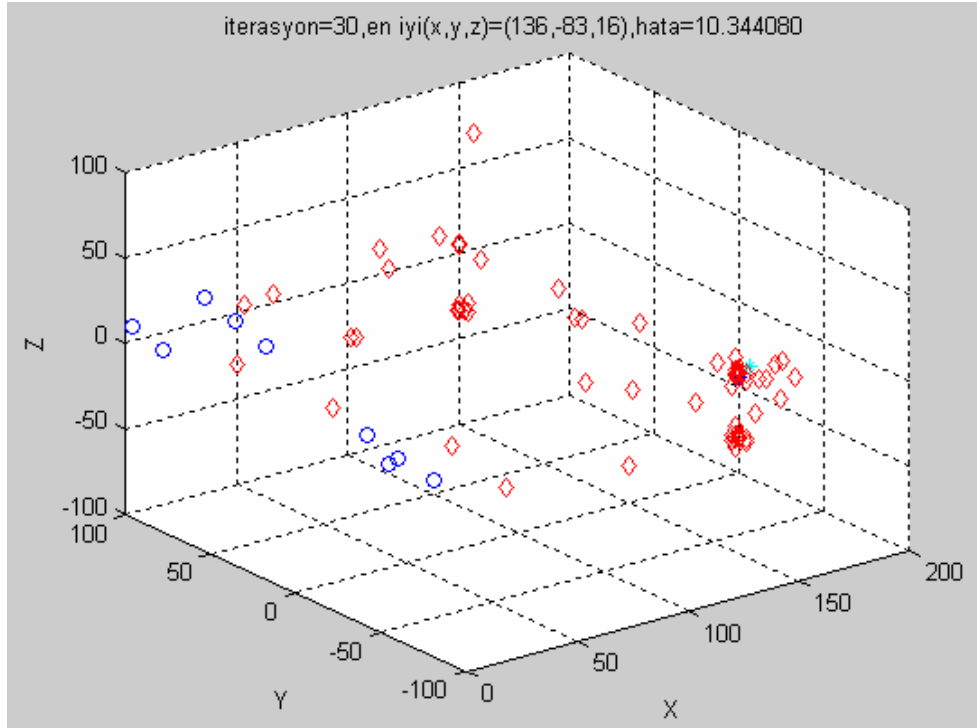


Şekil 6.16. Çözümlerin 30 iterasyon sonraki dağılımı

◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef koordinat, ○ mikrofonların konumu

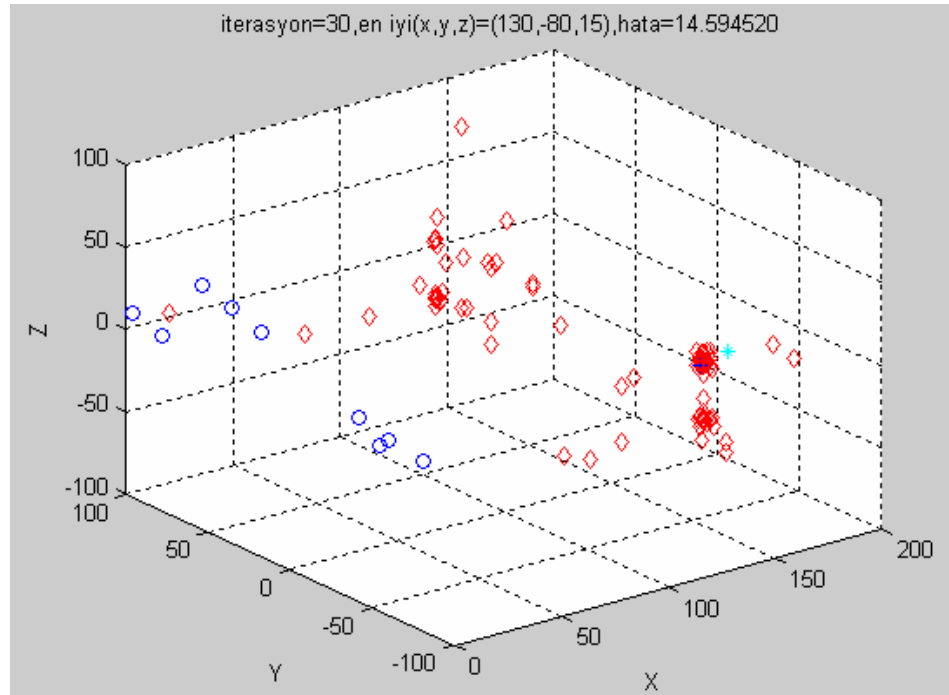


Şekil 6.17. İterasyon boyunca uygunluk değerinin değişimi



Şekil 6.18. Uygunluk fonksiyonunun *SGO* değeri alınması ile elde edilen sonuç

◇ bireyler, + en uygun birey, \* hedef koordinat, ○ mikrofonların konumları



Şekil 6.19. Uygunluk fonksiyonu olarak *ortalama değer* seçilmesi ile elde edilen sonuç

## 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, gürültülü ortamlarda ses kaynağının yerinin genetik algoritmaya dayalı mikrofon dizileri kullanılarak bulunması amaçlanmıştır. Çalışmanın temeli, mikrofon dizileri ile demetleme yapmaya dayanmaktadır. Demetleme, mikrofon dizisinin hedef bölgede belirli bir noktaya odaklanması şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışmada, klasik demetleme yöntemi olarak geciktir-ve-topla demetleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, ses dalgasının ortamda yayılması sırasında ortam şartlarına göre gecikmeye uğraması gerçeğine dayanmaktadır. Yöntemde, dizi içerisindeki her bir mikrofondan alınan ses sinyali bilgisine belirli gecikmeler uygulanarak elde edilen sinyal bilgilerinin üst üste toplanması ile çıkış sinyali elde edilmektedir. Amaç, ses kaynağı yerinin tespit edilmesi olduğundan, elde edilen sinyal kalitesinin en iyi olduğu noktanın aradığımız ses kaynağının yeri olduğu kabul edilmiştir.

Arama yöntemi olarak, makul bir zamanda en iyi veya en iyiye yakın bir çözüm bulan bir yöntem olan genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma yardımı ile hesaplanan noktalara demetleme yapılarak elde edilen çıkış sinyali değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirme sonucunda en uygun sinyalin elde edildiği nokta, diğer bir ifadeyle uzaysal koordinat ses kaynağının yeri olarak kabul edilmiştir.

Genetik algoritmanın uygunluk değerlendirme fonksiyonu olarak Sinyal-Gürültü-Oranı (SGO), korelasyon katsayısı, ortalama değer genlik gibi parametreler kıyaslanmıştır. SGO ve korelasyon katsayısının hesaplanabilmesi amacıyla, referans mikrofondan alınan ses sinyali ile demetleme sonucu elde edilen ses sinyali kullanılmıştır. Mutasyon işleci olarak ise, daha önce Hacıoğlu [24] tarafından geliştirilmiş olan titreşimli genetik algoritma uygulamasına benzer şekilde, değişken genlikli mutasyon işlemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, ikili kodlanmış kromozomların genlerine, iterasyon sayısı ile azalan bir genlikle mutasyon uygulanmış, böylece başlangıç adımlarında daha geniş bir çözüm uzayı aranırken, iterasyonun sonuna yaklaştıkça, her bir çözümün daha dar çevresi aranmıştır. Bu şekilde, algoritmanın yerel minimuma düşme olasılığı azaltılmıştır.

Deneylemler sonucunda, demetleme ile elde edilen sinyalin sinyal-gürültü-oranı, mikrofon sayısına bağımlı olarak değiştiği görülmüştür. Diğer bir ifade ile, mikrofon sayısı arttıkça SGO değerinin logaritmik olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu tespit, SGO değeri ile mikrofon sayısı arasındaki ilişkinin  $SGO=10\log_{10}(M)$  bağıntısını doğruladığını göstermektedir [26]. 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 olduğu görülmüştür. SGO değeri mikrofon sayısına bağımlı olarak artmasına rağmen, bu çalışmadaki amaç en az maliyetle ses kaynağının yerinin tespit edilmesi olduğu için, daha az mikrofon ile hedefe ulaşılması için deneyler yapılmıştır. 15 mikrofondan oluşan dizi içerisinde 3 adet mikrofonun kullanılması sonucunda çok küçük bir hata ile kaynağın yeri tespit edilmiştir. Ayrıca, Aguilar ve ark., 2 mikrofon kullanarak ve genetik algoritma yardımıyla arama yaparak ses kaynağının yerini tespit etmişlerdir [10].

Pratik uygulamada sadece ses kaynağının yerinin bulunmasının birçok durumda tek başına yeterli olmayacağı değerlendirilmektedir. Yeri tespit edilen ses kaynağına demetleme yöntemi ile dizinin yönlendirilmesi sonucunda sinyal kalitesinin artırılması hedeflenmelidir. Bu nedenle, pratik kullanımda ses kaynağının tespiti amacıyla dizi içerisindeki minimum sayıda mikrofon kullanılarak ses kaynağının yerinin tespit edilmesinden sonra, dizideki tüm mikrofonlar ile demetleme yapılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Ses kaynağı yerinin belirlenmesi yöntemlerinin duyarlılığı birden çok etkene bağlıdır. Bunlardan en önemlisi dizideki mikrofon sayısıdır. Mikrofon sayısı arttıkça geliş açısının daha doğru bir şekilde kestirilmesi mümkün olmaktadır. İkinci etken ise, örnekleme frekansıdır. Örnekleme frekansı arttırıldıkça dizinin uzaysal çözünürlüğü de artacaktır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken durum, örnekleme frekansı arttıkça, aynı zaman dilimini kullanan algoritmaların hesaplama maliyetinin artacağıdır. Bu nedenle, hesaplama için örnek sayısı da dikkate alınmalıdır. Ayrıca, analog-sayısal dönüştürücülerin sınırları da çözünürlüğü etkileyen önemli bir kısıttır.

Analog-sayısal dönüştürücülerin kısıtlarından dolayı örnekleme frekansının yetersiz kaldığı durumlarda yukarı örnekleme (upsampling) yöntemi kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Sullivan, M., T., “Multi-Microphone Correlation-Based Processing for Robust Automatic Speech Recognition”, Ph.D. Thesis, *Carnegie Mellon University Department of Electrical and Computer Engineering*, Pennsylvania, 8-100 (1996).
2. Hamahara, T., Kuroiwa, K., Hoshino, O., “Field Measurement Of Multi-Sound Directions By Using Microphone Array System Based On Genetic Algorithm”, *Proceedings of the 9th International Conference on Neural information Processing(ICONIP’02)* , Singapore, 1216-1220 (2002).
3. Kawano, J., Ogawa, T., Kuroiwa, K., Hoshino, O., “Estimation of Sound Direction for Multi-Sound Field Using Genetic Algorithm”, *Proceedings of the 8th International Conference on Neural information Processing (ICONIP’01)*, Shanghai, China, 2 : 523-528 (2001).
4. İnternet : Wikipedia, The Free Encyclopedia, “Microphone”, [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_microphone](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_microphone) (2007).
5. Widrow, B., “A Microphone Array for Hearing Aids”, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 1(2) : 26-32 (2001).
6. 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, 1-17 (2004).
7. Veen, V., Buckley, K., “Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering”, *IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing (ASSP) Magazine*, 4-24 (1988).
8. Karaman, M., Abul, M., A., Onart, S., Bilge, H., Ş., “Evreyumlu Görüntüleme Sistemleri için Demetleme Yöntemleri”, *IEEE-Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, Antalya, 692-697 (2000).
9. Hoshuyama, O., Sugiyama, A., “Robust Adaptive Beamforming”, *Microphone Arrays - Signal Processing Techniques and Applications*, Brandstein, M., Ward, D., *Springer*, Berlin, 87-109 (2001).
10. Aguilar, J., R., Arias, M., Salinas, R., Abidi, M., A., “Direct search of time delay in beamforming applications”, *Proc. of the III Encuentro Chileno de Acústica INGEACUS 2004*, Valdivia-Chile, 186-192 (2004).
11. Birinci, I., Y., Leblebicioğlu, K., “Mikrofon Dizisi Yerleşiminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu”, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU’2006)*, İstanbul, 1-4 (2006).

12. Hacıvelioğlu, İ., Dinçer, H., “Akıllı Anten Sistemlerinde İşaret Geliş Açısı Kestirim Yöntemleri”, *II. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*, Adana (2005).
13. Tamer, Ö., Köktürk, G., Özmehmet, K., “Düzgün Doğrusal Anten Dizilerinde En Büyük Olabilirlik Yöntemi Kullanarak Geliş Açısı Belirlenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 4(3): 37-43 (2002).
14. Direk, Ş., Baykut, S., Akgül, T., “Sualtı Doğrusal Dizi Alıcılarda Hüzme Şekillendiriciler ile Geliş Yönlerinin Kestirimi”, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Eskişehir, 280-283 (2007).
15. Yaşar, T., K., Tuncer, T., E., Filik, T., “Doğrusal Düzensiz Dizilerde Dizi Aradeğerlendirme ile Geniş Bant işaretlerin Geliş Açısı Tahmini”, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Ekişehir, 364-367 (2007).
16. Campbell, D., K., “Adaptive Beamforming Using a Microphone Array for Hands-Free Telephony”, Master Thesis, *The Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia, 3-6 (1999).
17. Goldberg, D., E., “Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning”, *Addison-Wesley*, USA , 1-25 (1989).
18. Güney, K., Akdağlı A., “Genetik Algoritma ile Dizi Elemanlarının Yerlerini Belirleyerek İstenilen Açılarda Sıfırlara Sahip Lineer Anten Dizi Tasarımı”, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU’2001)*, Gazimağusa, KKTC, 158-163 (2001).
19. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları”, *Ufuk Yayıncılık*, Kayseri, 12-13 (2003).
20. Karaboğa, D., “Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları”, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 75-112 (2004).
21. Goldberg, D., E., “Optimal Initial Population Size for Binary-Coded Genetic Algorithms”, *TCGA Report Number 851001, University of Alabama*, Alabama (1985).
22. Altıparmak, F., Dengiz B., “Genetik Algoritmalar”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3) : 523-541 (1998).
23. Saraç, T., Özçelik F., “Alternatif Rotaların Varlığında Üretim Hücrelerinin Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması”, *Makina Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 17(3) : 22-36 (2006).
24. Hacıoğlu, A., “Kanat Profili Dizaynında Genetik Algoritma Kullanımı”, *İTÜ Dergisi*, 2(6) : 73-81 (2003).

25. Valin, J., Michaud, F., Rouat, J., Letourneau, D., "Robust sound source localization using a microphone array on a mobile robot", *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'2003)* , Las Vegas, 2 : 1228-1233 (2003).
26. Adcock, J., E., "Optimal Filtering and Speech Recognition with Microphone Arrays", Ph.D. Thesis, *Brown University Department of Engineering*, Rhode Island, 1-3 (2001).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇONTAR, Ekrem

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 12.02.1971 Mersin

Medeni hali : Evli

Telefon : 0312 2986698

Faks :

e-mail : ekremcontar@hotmail.com

### Eğitim Derece

Lisans

### Eğitim Birimi

Yıldız Teknik Üniversitesi/  
Bilgisayar Bilimleri  
Mühendisliği

### Mezuniyet tarihi

1992

Lise

Mersin Tevfik Sırrı Gür Lisesi

1987

### İş Deneyimi

Yıl

1993-1998

1998-2000

2000-2003

2003-Halen

Yer

2.HİBM K.lığı-Kayseri

1.HİBM K.lığı-Eskişehir

NATO AWACS Üssü-  
Almanya

Hava Lojistik Komutanlığı-  
Ankara

Görev

Veri Tabanı Yöneticisi

Bilgi Sistemleri Yöneticisi

Radar Sistem Programcısı

Bilgi Sistemleri Yöneticisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Tenis, masa tenisi, futbol, doğa sporları, yemek pişirmek, yüzmek.