

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VARIŞ ZAMANLARI FARKI TABANLI VE YÜKSEK DOĞRULUKLU
YENİ KONUMLANDIRMA YÖNTEMLERİ**

DOKTORA TEZİ

Elektronik Yük. Müh. Oğuzhan ÇAKIR

**ŞUBAT 2015
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

VARIŞ ZAMANLARI FARKI TABANLI VE YÜKSEK DOĞRULUKLU
YENİ KONUMLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Elektronik Yük. Müh. Oğuzhan ÇAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.12.2014

Tezin Savunma Tarihi : 10.02.2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail KAYA

Trabzon 2015

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Oğuzhan ÇAKIR Tarafından Hazırlanan

VARIŞ ZAMANLARI FARKI TABANLI VE YÜKSEK DOĞRULUKLU
YENİ KONUMLANDIRMA YÖNTEMLERİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13 / 01 / 2015 gün ve 1585 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Üye : Prof. Dr. Ali GANGAL

Üye : Doç. Dr. İsmail KAYA

Üye : Doç. Dr. Mustafa ULUTAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadir TÜRK

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı çerçevesinde hazırlanmış olan bu tezde, yüksek konumlandırma doğruluğuna sahip yeni yöntemler önerilmiş ve bu yöntemler, geleneksel teknikler ve teorik limitle karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen algoritmaların başarımlarını test etmek amacıyla benzetimler yapılmış ve pratikte uygulanabilir olduğunu göstermek için de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam boyunca akademik desteği ve değerli fikirleriyle bana her zaman yardımcı olan danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail KAYA'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca tez izleme jürimde bulunarak, önerileriyle beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Ali GANGAL, Sayın Prof. Dr. Rifat YAZICI ve Sayın Doç. Dr. Mustafa ULUTAŞ'a teşekkür ediyorum.

Başta Arş. Gör. Ayhan YAZGAN olmak üzere Öğr. Gör. Ömer ÇAKIR, Öğr. Gör. Fatih ÇAKIR, Öğr. Gör. Dr. Emin TUĞCU, Yrd. Doç. Dr. Yusuf SEVİM, Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZEN, Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜNER, Arş. Gör. Cemalettin ŞİMŞEK, Arş. Gör. Cenk ALBAYRAK ve Maden Müh. Ali Osman ÇAKIR'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca değerli kişilikleri ve örnek yaşamları ile bana yol gösteren Sayın Mustafa ULUSOY ve Sayın İsmail Hakkı ULUSOY'a teşekkür ediyorum.

Tüm hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme en içten şükranlarımı sunuyorum.

Bu tezin konumlandırma alanında çalışan araştırmacılara faydalı olması temennisiyle.

Oğuzhan ÇAKIR
Trabzon 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Varış Zamanları Farkı Tabanlı ve Yüksek Doğruluklu Yeni Konumlandırma Yöntemleri’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. İsmail KAYA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/02/2015

Oğuzhan ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konumlandırma Sistemleri	2
1.3. Konum Tespit Sistemlerinde Kullanılan Temel Yöntemler	4
1.3.1. Varış Zamanıyla Konumlandırma	4
1.3.2. Varış Zamanları Farkı ile Konum Tespiti	7
1.3.3. Varış Doğrultusu ile Verici Konumu Tespiti	11
1.3.4. Alınan Sinyal Gücü ile Konumlandırma	12
1.3.5. Melez Konumlandırma Yöntemleri	14
1.4. Varış Zamanları Farkı Setleri	16
1.5. Cramer-Rao Alt Sınırı	18
1.6. Varış Zamanları Farkı Tabanlı Konum Tespit Algoritmaları	20
1.6.1. Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Yöntemi	21
1.6.2. En Çok Olabilirlik Algoritması	22
1.6.3. Doğrusal En Küçük Kareler Yöntemi	23
1.6.4. Ağırlıklandırılmış Doğrusal En Küçük Kareler Algoritması	23
1.7. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi	24
1.8. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	28

1.8.1.	Geleneksel Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	31
1.8.2.	Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun Varyantları	34
1.8.3.	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Verici Konumu Tespiti	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	38
2.1.	Giriş	38
2.2.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Yöntemine Farklı Bir Yaklaşım	39
2.2.1.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Yöntemine Yeni Bir Bakış Açısı	40
2.2.2.	VZFO Yönteminin Zaman Farkı Kestirim Hatası Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	45
2.2.3.	Sonuçlar	47
2.3.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Konumlandırma	48
2.3.1.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Parçacık Sürüsü ile Verici Konumu Tespiti	48
2.3.1.1.	PSO Tabanlı ve VZFO Destekli Konumlandırma Algoritmaları	48
2.3.1.2.	Benzetim Sonuçları	50
2.3.1.2.1.	Rastgele Dağılımlı Alıcı Dizisi ile Verici Konum Tespiti	50
2.3.1.2.2.	Dairesel Yerleşimli Alıcı Dizisi ile Konum Tespiti	51
2.3.1.3.	Sonuçlar	53
2.3.2.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Doğrusal Yöntemler ile Verici Konumu Tespiti	53
2.3.2.1.	Variş Zamanları Farkı Ortalama Tekniği Destekli Doğrusal Konumlandırma Algoritmaları	54
2.3.2.2.	Benzetim Çalışmaları	54
2.3.2.2.1.	Yakın Hedef Durumu	56
2.3.2.2.2.	Uzak Hedef Durumu	60
2.3.2.3.	Sonuçlar	61
2.4.	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Yayılma Hızından Bağımsız Kaynak Konumlandırma	62
2.4.1.	Variş Zamanları Farkı Oranları ile Verici Konumu Tespiti	63
2.4.2.	Benzetim Sonuçları	65
2.4.3.	Sonuçlar	69

2.5.	Alıcı Dizilerinin Dinamik Olarak Yönlendirilmesi ile Verici Konumu Tespiti.....	70
2.5.1.	Alıcı Dizilerinin Dinamik Yönlendirilmesi	70
2.5.2.	Benzetim Sonuçları	74
2.5.3.	Sonuçlar	76
2.6.	DeneySEL Çalışmalar	77
2.6.1.	Ölçüm Sistemi ve Test Ortamı.....	77
2.6.2.	İki Boyutlu Mikrofon Dizisi Geometrileri ve Test Noktaları	79
2.6.3.	Variş Zamanları Farkı Kestirimi	84
2.6.4.	İki Boyutlu Mikrofon Dizisi ile Konumlandırma	111
2.6.4.1.	VZFO Destekli PSO Algoritmasıyla Akustik Verici Konumlandırma	111
2.6.4.2.	VZFO Destekli Doğrusal Yöntemlerle Verici Konumu Tespiti.....	112
2.6.4.3.	PSO ile Ses Hızından Bağımsız Kaynak Konumlandırma	113
3.	SONUÇLAR	117
4.	ÖNERİLER	120
5.	KAYNAKLAR	122
	ÖZGEÇMİş	

Doktora Tezi

ÖZET

VARIŞ ZAMANLARI FARKI TABANLI VE YÜKSEK DOĞRULUKLU
YENİ KONUMLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Oğuzhan ÇAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İsmail KAYA
2015, 137 Sayfa

Birbirlerinden uzamsal olarak ayrı yerleştirilmiş eş zamanlı alıcılarla elektromanyetik, akustik veya sismik bir kaynağın yeri tespit edilebilmektedir. Vericiden yayılan sinyalin alıcılara ulaşma zamanları arasındaki farklar kullanılarak, hiperbolik konum hatları tanımlanmakta ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır. Bu doktora tezinde varış zamanları farkı (VZF) tabanlı ve yüksek doğruluklu yeni konumlandırma yöntemleri önerilmiştir. İlk kısımda varış zamanları farkı ortalama (VZFO) tekniğinde kullanılan katsayı matrisi basit bir çizgeler arası dolaşım algoritması ile yeniden üretilmiş ve katsayı matrisinin sadece üçlü VZF grupları ile değil aynı zamanda dördü, beşli ve bunların karışımları/bileşimleri ile de elde edilebileceği gösterilmiştir. İkinci bölümde VZFO tekniği destekli iki yeni algoritma sunulmuştur. İlk yöntemde ortalama tekniği parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile birlikte kullanılarak, konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmış ve tam VZF seti kullanıldığında bağımsız setle hesaplanan Cramer-Rao alt sınırının (CRAS) geçilebileceği gösterilmiştir. İkinci algoritmada ortalama yöntemi doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) teknikleriyle birlikte kullanılmış ve bağımsız set ile konum tespitinde geleneksel teorik limit aşılmıştır. Üçüncü kısımda yayılma hızından bağımsız konumlandırma yapan PSO tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen algoritmada zaman farkları birbirlerine bölünerek, yayılma hızı sadeleştirilmiş ve VZF oranları elde edilmiştir. Ardından bu oranlar kullanılarak, verici koordinatları PSO ile hızdan bağımsız olarak bulunmuştur. Dördüncü bölümde konumlandırma doğruluğunu daha da artırmak amacıyla optimum alıcı dizileri hedefin koordinatlarına bağlı olarak, dinamik bir şekilde yönlendirilmiş ve ciddi başarımları sağlanmıştır. Son kısımda üç farklı alıcı geometrisi ve altı hedef noktası için akustik bir kaynağın konumu tespit edilmiş ve önerilen yöntemlerin başarımları teorik limite kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Verici konumu tespiti, Varış zamanları farkı, Varış zamanları farkı ortalama, Yayılma hızından bağımsız konumlandırma, Alıcı dizisi optimizasyonu, Parçacık sürüsü optimizasyonu

PhD. Thesis

SUMMARY

TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL BASED AND HIGH ACCURATE
NEW LOCALIZATION METHODS

Oguzhan CAKIR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Ismail KAYA
2015, 137 Pages

The position of electromagnetic, acoustic, or seismic source can be determined by spatially separated synchronous receivers. Hyperbolic lines of positions are defined by using the time differences of arrivals of transmitted signals and the target is positioned at the intersection point. In this PhD thesis, high accurate and time difference of arrival (TDOA) based novel positioning methods are proposed. In the first section, the coefficient matrix which is used in time difference of arrival averaging (TDOAA) method is reproduced by a simple graph traversal algorithm and also showed that this matrix can be obtained not only using three TDOA groups but also four, five, and their combinations. In the second section, two novel algorithms based on TDOAA are proposed. In the first method, the averaging is combined with particle swarm optimization (PSO) and a significant decrease obtained in the positioning error by showing that the Cramer-Rao lower bound (CRLB) that is computed by independent set can be passed using the full TDOA set. In the second algorithm, the linear least square (LLS) and weighted linear least square (WLLS) techniques are used together and the traditional theoretical limit is passed by using the independent set. In the third section, a novel positioning method independent of the propagation speed and based on PSO is proposed. In the proposed method, the propagation speed has been canceled out by dividing the time differences each other and the TDOA ratios are obtained. Then, the target coordinates are found independent of the propagation speed by using these coordinates and PSO. In the fourth section, in order to increase the positioning accuracy further, optimum receiver arrays are dynamically oriented regarding to the target coordinates and the significant performance increase has been obtained. In the last section, the position of an acoustic source has been localized and performances of proposed methods compared with theoretical limit by using three different receiver geometries and six target points.

Key Words: Emitter location finding, Time difference of arrival, Time difference of arrival averaging, Propagation speed free localization, receiver array optimization, Particle swarm optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Konumlandırma sistemlerinin sınıflandırılması	3
Şekil 2. Tek alıcı için VZ yöntemiyle konumlandırma	5
Şekil 3. İki alıcı olduğu durum için VZ ile konum tespiti	6
Şekil 4. Üç alıcılı durum için VZ ile konum tespiti	7
Şekil 5. İki alıcı olduğu durum için VZF ile konum tespiti	8
Şekil 6. Üç alıcı ve bağımsız VZF seti ile konum tespiti	8
Şekil 7. Üç alıcı ve bağımsız set ile konumlandırmada ikinci hedef noktası	9
Şekil 8. Üç alıcı ve tam VZF seti ile konum tespiti	9
Şekil 9. Tek alıcı için VD ile konum tespiti	11
Şekil 10. VD yöntemi ile iki alıcı için konum tespiti	12
Şekil 11. Üç alıcılı durum için ASG ile konum tespiti	13
Şekil 12. Dört alıcılı konumlandırma sistemi ile konum tespiti	17
Şekil 13. Üç alıcılı konumlandırma sistemi ve VZF vektörleri	26
Şekil 14. Parçacık sürüsü optimizasyonu akış şeması	33
Şekil 15. Parçacıkların arama bölgesine eşit aralıklarla dağıtılması	36
Şekil 16. Parçacıkların hedef etrafında kümelenmesi	36
Şekil 17. Üç alıcılı konumlandırma sistemi ve VZF vektörleri	40
Şekil 18. Üç alıcılı konumlandırma sistemi için zaman farkı ağaçları	41
Şekil 19. Dört alıcılı konumlandırma sistemi ve zaman farkı vektörleri	42
Şekil 20. Dört alıcılı konumlandırma sistemi için a_{12} ağacı	43
Şekil 21. Beş alıcılı konumlandırma sistemi ve zaman farkı vektörleri	45
Şekil 22. VZFO destekli PSO ile verici konumu tespiti	49
Şekil 23. VZFO destekli doğrusal konumlandırma yöntemleri	54
Şekil 24. VZFO destekli doğrusal konum tespiti benzetim şeması	55
Şekil 25. Dört alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması	67
Şekil 26. Beş alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması	68

Şekil 27. Altı alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması	68
Şekil 28. Eş açılı alıcı dizisi ile konum tespiti	71
Şekil 29. PSO algoritmasıyla döndürme açısının bulunması	72
Şekil 30. Alıcı dizisi yönlendirildikten sonra konum tespiti	73
Şekil 31. EAD ile konum tespitinde dinamik yönlendirme yokken ve varken elde edilen OKH eğrileri	75
Şekil 32. Çapraz dizi ile konum tespitinde dinamik yönlendirme yokken ve varken elde edilen OKH eğrileri	76
Şekil 33. Test ortamı ve ölçüm düzeneğinin genel görünümü	77
Şekil 34. Akustik ölçüm düzeneğinin blok şeması	78
Şekil 35. Noktasal ses kaynağı ve taşıyıcısı	79
Şekil 36. Mikrofon dizisi taşıyıcısı	80
Şekil 37. Test alanı ve koordinat düzlemi	80
Şekil 38. Birinci geometri ve birinci test noktasının genel görünümü	81
Şekil 39. Birinci geometri ve ikinci test noktasının genel görünümü	81
Şekil 40. İkinci geometri ve üçüncü test noktasının genel görünümü	82
Şekil 41. İkinci geometri ve dördüncü test noktasının genel görünümü	82
Şekil 42. Üçüncü geometri ve beşinci test noktasının genel görünümü	83
Şekil 43. Üçüncü geometri ve altıncı test noktasının genel görünümü	83
Şekil 44. Variş zamanları farkı kestirim işleminin blok şeması	84
Şekil 45. İlk alıcı dizisi ile birinci hedef noktasından alınan ses sinyalleri	85
Şekil 46. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	87
Şekil 47. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	87
Şekil 48. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	88
Şekil 49. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	88
Şekil 50. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	89
Şekil 51. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	89
Şekil 52. İlk alıcı dizisi ile ikinci hedef noktasından alınan akustik işaretler	90
Şekil 53. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	91
Şekil 54. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	91

Şekil 55. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	92
Şekil 56. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	92
Şekil 57. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	93
Şekil 58. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	93
Şekil 59. İkinci alıcı dizisi ile üçüncü hedef koordinatlarından alınan akustik işaretler ...	94
Şekil 60. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	95
Şekil 61. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	95
Şekil 62. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	96
Şekil 63. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	96
Şekil 64. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	97
Şekil 65. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	97
Şekil 66. İkinci alıcı dizisi ile dördüncü hedef koordinatlarından alınan akustik işaretler .	98
Şekil 67. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	99
Şekil 68. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	99
Şekil 69. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	100
Şekil 70. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	100
Şekil 71. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	101
Şekil 72. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	101
Şekil 73. Üçüncü mikrofon dizisi ile beşinci hedef noktasından alınan patlama sinyalleri.	102
Şekil 74. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	103
Şekil 75. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	103
Şekil 76. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	104
Şekil 77. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	104
Şekil 78. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	105
Şekil 79. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	105
Şekil 80. Üçüncü mikrofon dizisi ile altıncı hedef noktasından alınan patlama sinyalleri .	106
Şekil 81. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı	107
Şekil 82. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı	107
Şekil 83. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{14}$ zaman farkı	108

Şekil 84. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{23}$ zaman farkı	108
Şekil 85. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı	109
Şekil 86. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı	109
Şekil 87. 1. mikrofon geometrisi ve 1. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	114
Şekil 88. 1. mikrofon geometrisi ve 2. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	114
Şekil 89. 2. mikrofon dizisi ve 3. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	115
Şekil 90. 2. mikrofon dizisi ve 4. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	115
Şekil 91. 3. mikrofon dizisi ve 5. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	116
Şekil 92. 3. mikrofon dizisi ve 6. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri	116

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. VZ ve VZF yöntemleri ile elde edilen konum bilgisinin alıcı sayısına göre karşılaştırılması	10
Tablo 2. VZF kestirim hatasının alıcı sayısına göre değişimi	47
Tablo 3. Rastgele dağılımlı alıcı dizisi için elde edilen OKH değerleri	51
Tablo 4. Dairesel yerleşimli alıcı dizisi için elde edilen OKH değerleri	52
Tablo 5. PSO tabanlı algoritmalar geleneksel yöntemler ve CRAS hesabında kullanılan zaman farkı sayıları	52
Tablo 6. Yakın hedef durumu için doğrusal yöntemler ile konum tespiti	56
Tablo 7. Uzak hedef durumu için doğrusal yöntemler ile konum tespiti.....	61
Tablo 8. OKH değerlerinin alıcı sayısına bağlı olarak değişimi	66
Tablo 9. 201 test noktası için ortalama OKH değerleri	69
Tablo 10. Karesel hata değerlerinin alıcı ve yineleme sayısına göre değişimi	74
Tablo 11. Mikrofon dizisi geometrisi ve test noktaları	79
Tablo 12. Kestirilen zaman farklarına ait bazı istatistikî veriler	110
Tablo 13. VZFO destekli PSO algoritmalarıyla elde edilen ortalama karesel hata değerleri	111
Tablo 14. VZFO destekli klasik yöntemlerle elde edilen ortalama karesel hata değerleri .	112

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Ölçüm/katsayı matrisi
ABA	: Ateş böceği algoritması
ADEKK	: Ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler
ADEKKO	: Ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler ortalanmış
AEKK	: Ağırlıklandırılmış en küçük kareler
AGS	: Alçak geçiren süzgeç
AKS	: Aktif konumlandırma sistemleri
ASG	: Alınan sinyal gücü
a_{ij}	: i . ve j . alıcılar için varış zamanları farkı ağacı
BBAA	: Bakteriyel besin arama algoritması
BKS	: Bölgesel konumlandırma sistemleri
BPSO	: Birleşik parçacık sürüsü optimizasyonu
b	: Karesel hata vektörü
CRAS	: Cramer-Rao alt sınırı
CRASB	: Cramer-Rao alt sınırı benzetim
CRASO	: Cramer-Rao alt sınırı ortalanmış
ÇGB	: Çok geniş bantlı
c	: Sinyalin ortamdaki yayılma hızı
cm	: Santimetre
c_0	: Gerçek yayılma hızı
D	: Boyut
DEKK	: Doğrusal en küçük kareler
DEKKO	: Doğrusal en küçük kareler ortalanmış
DGO	: Doğrudan görüş olmadığı
DOEKK	: Doğrusal olmayan en küçük kareler
DSGF	: Durağan sinyal gücü farkı
DY	: Dinamik yönlendirme

dB	: Desibel
EAD	: Eş açılı dizi
EÇO	: En çok olabilirlik
$E\{.\}$: Uzun dönem ortalama
e	: Kestirim hatası vektörü
FBM	: Fisher bilgi matrisi
$f_B(x_p)$: Parçacık sürüsü optimizasyonunda bağımsız/küresel varış zamanları farkı seti için uygunluk fonksiyonu
$f_{cs}(N)$: Varış zamanları farkı ağacındaki çevre sayısını veren fonksiyon
$f_T(x_p)$: Parçacık sürüsü optimizasyonunda tam varış zamanları farkı seti için uygunluk fonksiyonu
GA	: Genetik algoritmalar
GBKÇE	: Geniş bantlı kod bölmeli çoklu erişim
GBKS	: Geniş bantlı kablosuz sistem
GKF	: Genişletilmiş Kalman filtresi
GPSO	: Geliştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyonu
GTY	: Güç tayf yoğunluğu
G_t	: Taylor katsayı matrisi
g_{best}	: Sürünün o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini veren konum vektörü
İGO	: İşaret gürültü oranı
İKAA	: İşbirlikçi kablosuz algılayıcı ağları
İYVZ	: İki yönlü varış zamanı
i	: Alıcı indisi
$J_{ML}(\hat{x})$: En çok olabilirlik yöntemi için maliyet fonksiyonu
$J_{NLS}(\hat{x})$: Doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi için maliyet fonksiyonu
j	: Alıcı indisi
KA	: Kablosuz algılayıcı ağları
KBÇE	: Kod bölmeli çoklu erişim
KBİO	: Kara böcek istilasası optimizasyonu
KKF	: Kokusuz Kalman filtresi

KKO	: Karınca kolonisi optimizasyonu
KKS	: Küresel konumlandırma sistemleri
KPSO	: Klasik parçacık sürüsü optimizasyonu
kHz	: Kiloherertz
k	: Yineleme indisi
k_{max}	: En büyük yineleme sayısı
L	: Alçak geçiren süzgeç boyu
l	: Verici ile alıcı arasındaki mesafe
l_i	: Verici ile i . alıcı arasındaki mesafe
\hat{l}_i	: Hedefin kestirilen koordinatları ile i . alıcı arasındaki mesafe
M	: Varış zamanları farkı sayısı
M_B	: Bağımsız/küresel seti için varış zamanları farkı sayısı
M_T	: Tam seti için varış zamanları farkı sayısı
MBKİ	: Melez birleşik Kalman izleme
ms	: Milisaniye
mV	: Mili volt
m/s	: Metre bölü saniye
m^2	: Metrekare
N	: Alıcı sayısı
N_P	: Parçacık sayısı
n_c	: Yayılma hızı kestirim hatası
n_d	: Varış zamanları farkı gürültüsü
OKH	: Ortalama karesel hata
OKT	: Otomatik konum tespiti
o	: Sayısal örnek
P	: Parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini veren konum vektörlerinden oluşan matris
PKS	: Pasif konumlandırma sistemleri
PKSO	: Parıltı kurdu sürüsü optimizasyonu
PSO	: Parçacık sürüsü optimizasyonu

PSOO	: Parçacık sürüsü optimizasyonu ortalanmış
PSOM	: Parçacık sürüsü optimizasyonu melez
P_{n_d}	: Gürültü gücü
P_{Δ}	: İşaret gücü
p	: Parçacık indisi
\mathbf{pbest}_p	: p . parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini veren konum vektörü
R	: Alıcı
RF	: Radyo frekansı
R_i	: i . alıcı
r	: Alıcı merkezli çemberin yarıçapı
$rand_1$: 0 ile 1 arası düzgün dağılımlı birinci rastgele gerçel sayı
$rand_2$: 0 ile 1 arası düzgün dağılımlı ikinci rastgele gerçel sayı
r_i	: i . alıcı tarafından tanımlanan çemberin yarıçapı
S	: Parçacık sürüsü konum vektörleri matrisi
SAEKK	: Sınırlandırılmış ve ağırlıklandırılmış en küçük kareler
SCRAS	: Sonsal Cramer-Rao alt sınırı
SHÖ	: Sonsal hata özdeğişintisi
SKAA	: Sivrisinek konuk arama algoritması
SPSO	: Standart parçacık sürüsü optimizasyonu
s_{ij}	: i . ve j . alıcılar için katsayı matrisi satırı
TB	: Tavlama benzetimi
TKM	: Taylor katsayı matrisi
t_h	: Ortamın hava sıcaklığı
UKS	: Uzaktan konumlandırma sistemleri
VD	: Varış doğrultusu
VFF	: Varış frekansları farkı
VZ	: Varış zamanı
VZF	: Varış zamanları farkı
VZFO	: Varış zamanları farkı ortalama

v_{max}	: Hız limiti
\mathbf{v}_p	: Parçacığın hız vektörü
v_{pi}	: p . parçacığın i . boyuttaki hızı
YA	: Yarasa algoritması
YSA	: Yapay sinir ağları
y	: Hedefin gerçek y koordinatı
\hat{y}	: Hedefin kestirilen y koordinatı
y_i	: i . alıcının y koordinatı
\hat{y}_m	: Hedefin PSOM yöntemi ile kestirilen y koordinatı
\hat{y}_o	: Hedefin PSOO yöntemi ile kestirilen y koordinatı
y_p	: Parçacığın y koordinatı
z	: Hedefin z koordinatı
z_i	: i . alıcının z koordinatı
x	: Hedefin gerçek x koordinatı
\hat{x}	: Hedefin kestirilen x koordinatı
$\hat{\mathbf{x}}$: Hedefin kestirilen koordinatları
x_i	: i . alıcının x koordinatı
\hat{x}_m	: Hedefin PSOM yöntemi ile kestirilen x koordinatı
$\hat{\mathbf{x}}_m$: Hedefin PSOM yöntemi ile kestirilen koordinatları
\hat{x}_o	: Hedefin PSOO yöntemi ile kestirilen x koordinatı
$\hat{\mathbf{x}}_o$: Hedefin PSOO yöntemi ile kestirilen koordinatları
x_p	: Parçacığın x koordinatı
x_{pi}	: Parçacığın i . boyuttaki x koordinatı
\mathbf{x}_p	: Parçacığın konum vektörü
\mathbf{Q}	: Varış zamanları farkı gürültüsü özdeğişinti matrisi
\mathbf{Q}_B	: Varış zamanları farkı gürültüsü özdeğişinti matrisi benzetim
\mathbf{Q}_O	: Varış zamanları farkı gürültüsü özdeğişinti matrisi ortalananmış
\mathbf{W}	: Ağırlıklandırma matrisi
Δ	: Gerçek varış zamanları farkı
Δ	: Gerçek varış zamanları farkı vektörü

$\widehat{\Delta}$: Kestirilen varış zamanları farkı
$\widetilde{\Delta}$: Ortalanmış varış zamanları farkı
$\widetilde{\Delta}$: Ortalanmış varış zamanları farkı vektörü
Δ_{ij}	: i . ve j . alıcılar arasında oluşan gerçek varış zamanları farkı
$\widehat{\Delta}_{ij}$: i . ve j . alıcılar arasında oluşan kestirilen varış zamanları farkı
$\widetilde{\Delta}_{ij}$: i . ve j . alıcılar arasında oluşan ortalanmış varış zamanları farkı
Φ	: Fisher bilgi matrisinin
α	: Hedefin kestirilen koordinatlarının döndürme açısı
α_{max}	: En büyük döndürme açısı
χ	: Kısıtlama faktörü
φ	: İvmelenme sabitlerinin toplamı
φ_1	: Birinci öğrenme faktörü
φ_2	: İkinci öğrenme faktörü
μ	: Adım büyüklüğü
μs	: Mikro saniye
μV^2	: Mikro volt kare
θ	: Varış doğrultusu
θ_i	: i . alıcıya gelen sinyalin doğrultusu
θ_{LLS}	: En küçük kareler yöntemi için çözüm vektörü
θ_{WLLS}	: Ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntem için çözüm vektörü
ρ	: Varış zamanları farkı oranı
$\hat{\rho}$: Kestirilen varış zamanları farkı oranı
σ_c	: Yayılma hızı varsayım hatasının standart sapması
σ_d	: Varış zamanları farkı gürültüsünün standart sapması
σ_d^2	: Varış zamanı farkı kestirim hatasının değışintisi
τ_i	: Hedeften yayılan sinyalin i . alıcıya ulaşma zamanı
ω	: Atalet ağırlığı
ψ	: İşaret uyumsuzluğu değışkeni

\circ	: Derece
°C	: Santigrat derece
$\text{tr}(\cdot)$: Matrisin köşegen elemanlarının toplamı
∇	: Yön türevi
$(\cdot)^T$: Devrik işlemi
$(\cdot)^{-1}$: Matris tersi işlemi
$/$: Tamsayı bölme işlemi
$\%$: Modüler bölme işlemi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojideki hızlı gelişimle birlikte insan hayatında birçok değişiklikler ve yeni gereksinimler ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri olan konumlandırma günlük hayatta konum tabanlı servisler, etkileşimli sayısal haritalar ve araç takip sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde verici sinyalinin genliği, doğrultusu, geliş zamanı ve geliş zamanları/frekansları farkı gibi karakteristik özellikleri kullanılarak, konum tespiti yapılmaktadır. Hâlihazırda doğruluk, güvenilirlik, karmaşıklık ve donanım gereksinimleri birbirlerinde farklı birçok konumlandırma tekniği bulunmaktadır. Hedeften yayılan sinyalin genliğinin ve ortam parametrelerinin (zayıflatma, doğrudan görüş, çok yolluluk vb.) bilinmesini gerektiren alınan sinyal gücü (ASG) yöntemi bunlardan biridir [1]. Diğer bir yöntem olan varış doğrultusu (VD) tekniğinde alıcılardaki özdeş ve hassas anten/mikrofon dizileri ile konum tespiti yapılmaktadır [2]. En güvenilir ve en yüksek doğruluğa sahip varış zamanı (VZ) yönteminde ise hedeften yayılan sinyalin alıcılara ulaşma zamanı kullanılmaktadır [3]. Ancak bu teknikte verici-alıcı eş zamanlaması veya kaynaktan yayılan sinyalin alıcı tarafta biliniyor olması gerekmektedir. Eş zamanlı alıcılar arasında oluşan zaman farklarını kullanan varış zamanları farkı (VZF) yöntemi ise yüksek doğruluğu, hedeften yayılan sinyalin bilinmesine gerek olmaması ve verici-alıcı eş zamanlamasına ihtiyaç duymaması tekniği, pasif radar uygulamaları için vazgeçilmez kılmaktadır [4]. Bunların dışında hedefin ve/veya alıcıların hareket halinde olması durumunda ortaya çıkan varış frekans farkları (VFF) kullanılarak da konum tespiti yapılabilmektedir [5]. Son olarak konumlandırma güvenilirliğini ve doğruluğunu arttırmak amacıyla bahsedilen tekniklerin birlikte kullanımı ile melez yöntemler ortaya çıkmış ve uygulama alanı bulmuştur [6].

VZF tekniği ile konum tespitinde öncelikle alıcılar arasında oluşan zaman farklarının yüksek doğrulukla kestirilmesi gerekmektedir. Literatürde doğrudan görüş, çok yolluluk, girişim ve çoklu hedef durumları için önerilmiş çok sayıda kestirim algoritması bulunmaktadır [7]. Zaman farkı kestiriminden sonra verici konumu doğrusal olmayan en küçük kareler

(DOEKK), en çok olabilirlik (EÇO), doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) gibi klasik yöntemler kullanılarak tespit edilmektedir [8]. Bu tekniklerin yanında basitliği, esnekliği, güvenilirliği, yüksek doğruluğu, hızlı yakınsaması ve az parametre içermesi nedeniyle parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) da konumlandırma uygulamalarında [9] ve farklı mühendislik problemlerinin çözümünde [10] yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu doktora tezinde varış zamanları farkı ortalama (VZFO) [11, 12] yöntemine farklı bir bakış açısı getirilmiş ve konumlandırmada doğruluğunu artırma yönelik VZFO destekli iki yeni yöntem önerilmiştir. Ayrıca verici konumu tespitinde yayılma hızına olan bağımlılığı ortadan kaldıran yeni bir teknik ve alıcı dizilerinin dinamik olarak yönlendirilmesi ile yüksek doğrulukla konum tespiti yapan yeni bir yöntem sunulmuştur. Son olarak önerilen tekniklerin, uygulanabilirliğini ve geçerliliğini göstermek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen veriler teori ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar beş ana başlık altında toplanabilir. Bunlar:

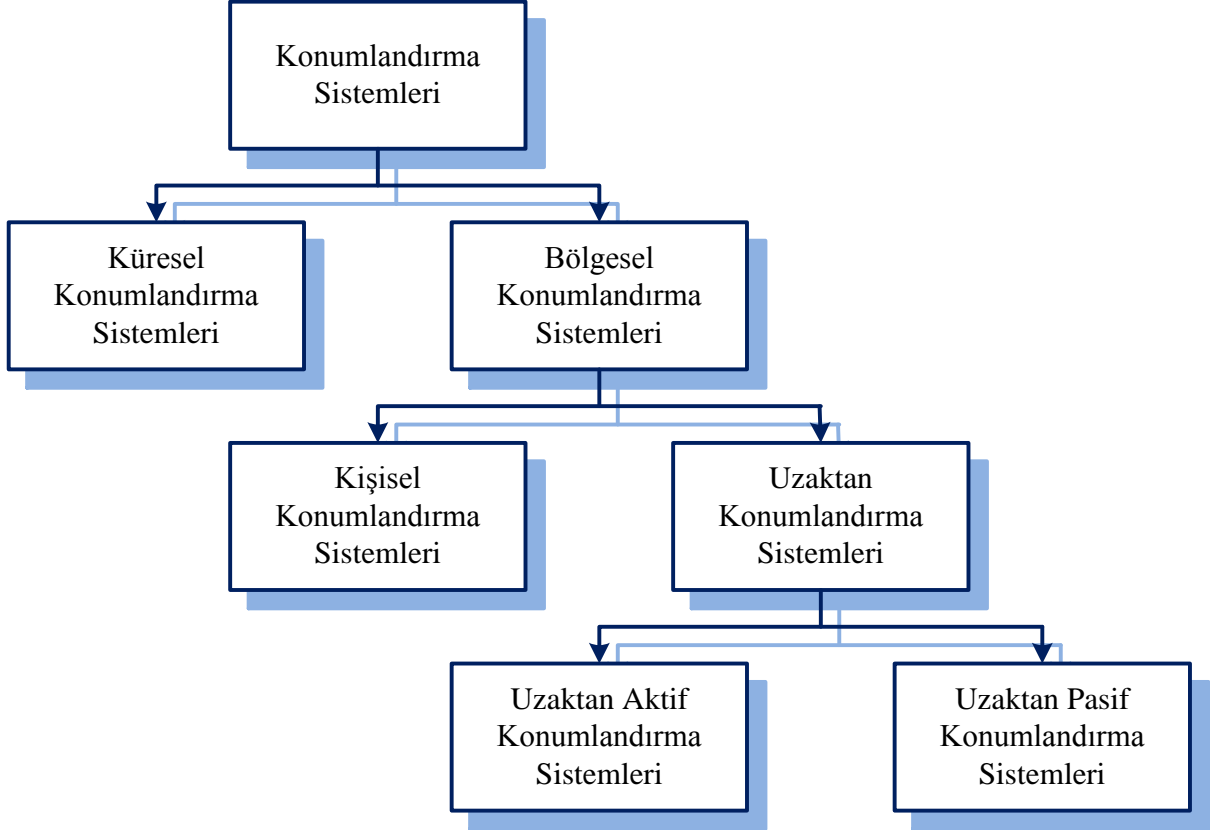
1. VZFO tekniğine farklı bir bakış açısı [13]
2. VZFO yöntemi destekli verici konumu tespiti [14, 15]
3. PSO ile yayılma hızından bağımsız konumlandırma [16]
4. Alıcı dizilerinin dinamik olarak yönlendirilmesi [17, 18]
5. Deneysel çalışmalar

1.2. Konumlandırma Sistemleri

Konumlandırma sistemi bir canlının ya da nesnenin yerini bilinen bir referansa veya koordinat sistemine göre tespit etmektedir [19]. Günümüzde teknolojik ilerlemelere bağlı olarak insan hayatında ortaya çıkan yeni gereksinimler birçok konumlandırma sisteminin geliştirilmesini sağlamıştır. Günlük hayatta sıklıkla karşılaştığımız bu sistemlerin bazı uygulamaları şunlardır:

- Araç takip sistemleri [20]
- Etkileşimli sayısal haritalar [21]
- Konum tabanlı hizmetler [22]

- Yön güdümlü araçları [23]
- Acil yardım sistemleri [24]
- Kablosuz algılayıcı ağları [25]
- Mobil haberleşme sistemleri [26]



Şekil 1. Konumlandırma sistemlerinin sınıflandırılması [27]

Konumlandırma sistemleri, Şekil 1’de de görüldüğü gibi iki grup altında toplanabilir [27]. Bunlar:

1. Küresel konumlandırma sistemleri (KKS) [28]
2. Bölgesel konumlandırma sistemleri (BKS) [29]

KKS her kullanıcısının dünya üzerinde kendi konumunu tayin etmesini sağlamaktadır. BKS ise bağıl konumlandırma sistemi olup kendi içerisinde kişisel ve uzaktan konumlandırma sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kişisel konumlandırma sisteminde her bir kişi

veya cihaz herhangi bir zamanda veya bölgede kendi pozisyonunu bilinen bir referansa göre tayin edebilmektedir. Bu tip sistemlere ataletsel seyrüsefer sistemleri [30] örnek olarak verilebilir.

Uzaktan konumlandırma sistemi (UKS) her bir düğümün kendi kapsama alanındaki diğer düğümlerin bağıl konumlarını bulmasına imkân vermektedir. Düğümlerin sabit veya hareketli olabildiği bu sistem kendi içinde aktif ve pasif olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [27].

Aktif konumlandırma sistemlerinde (AKS) hedef aktif olup konum tespiti yapan düğümlerle işbirliği içerisindedir. Pasif konumlandırma sistemlerinde (PKS) ise hedef pasif olup, diğer düğümlerle işbirliği yoktur [31]. AKS'ye radyo frekansıyla tanıma [32], kablosuz haberleşme bölgesel konumlandırma sistemleri [33] ve trafik uyarı ve çarpışma önleme sistemleri [34] örnek olarak verilebilir. Gündelik hayatta sıklıkla karşılaştığımız görüntüleme sistemleri ve takip radarları PKS'nin birer uygulamasıdır.

1.3. Konum Tespit Sistemlerinde Kullanılan Temel Yöntemler

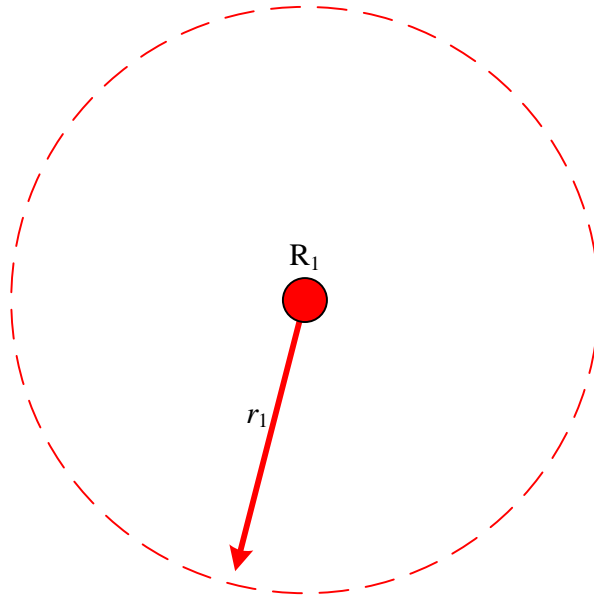
Elektromanyetik, akustik, sualtı akustik, ultrasonik, optik veya sismik bir kaynaktan yayılan sinyalin alıcı taraftaki gücü, doğrultusu, geliş zamanı ve geliş zamanları/frekansları farkı bize hedefin konumu hakkında bilgi vermektedir. Bu kısımda konumlandırma sistemlerinde kullanılan tekniklerden kısaca bahsedilecek ve yöntemler birbirleriyle kıyaslanacaktır.

1.3.1. Varış Zamanıyla Konumlandırma

Varış zamanı (VZ) hedefin alıcıya olan uzaklığını vermektedir. Birbirleriyle eşzamanlı çalışan çoklu alıcılarla alınan VZ ölçümleri ile hedef konumu tespit edilmektedir [35, 36]. Konum tespitinde üçgenleme yöntemi yaygın olarak kullanılmakta olup tüm alıcıların koordinatlarının doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Alıcıların hareketli olması durumunda ise alıcı konumları KKS ile belirlenmektedir.

VZ ile konumlandırmada iki boyutlu düzlemde en az üç veya üç boyutlu uzayda en az dört alıcıya ihtiyaç vardır. Ayrıca hedef ile alıcılar arasında eş zamanlamaya veya alıcıların verici sinyalini bilmesi gerekmektedir.

Şekil 2’de tek alıcılı durum için VZ tekniğiyle konum tespiti görülmektedir. Alıcı sayısı bir olduğu için tek VZ oluşmakta ve hedef r_1 yarıçaplı çember üzerinde herhangi bir noktada bulunmaktadır.



Şekil 2. Tek alıcı için VZ yöntemiyle konumlandırma

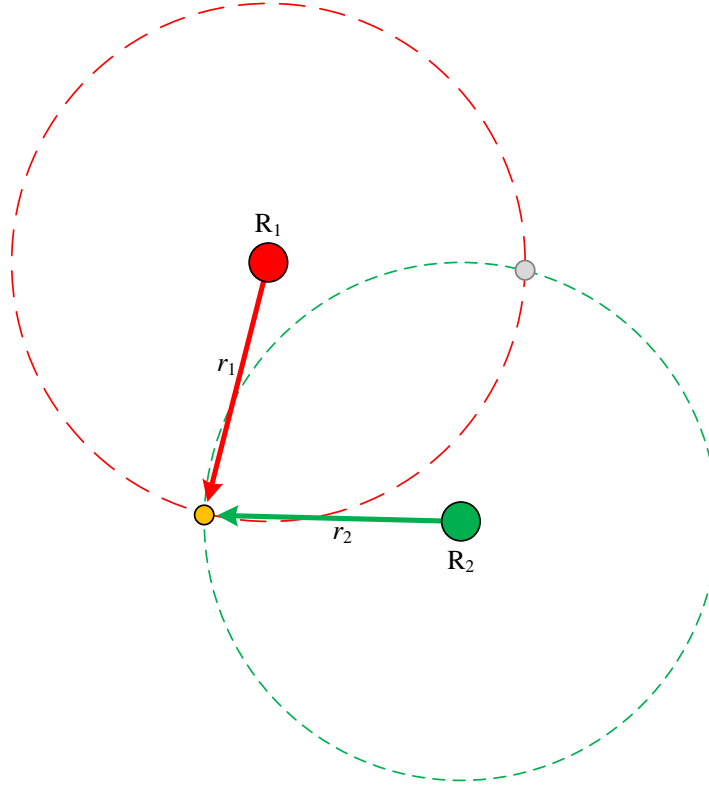
Şekilde, r_1 kaynağın konum hattını tanımlayan çemberin yarıçapı olup (1)’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$r_1 = c\tau_1 \quad (1)$$

Burada, c sinyalin ortamdaki yayılma hızını ve τ_1 ’de vericiden yayılan sinyalin alıcıya ulaşma (varış) zamanını göstermektedir.

İki alıcı olduğu durumda Şekil 3’de de görüldüğü gibi iki farklı hedef noktası oluşmaktadır ve konum tespiti için üçüncü bir alıcıya gerek duyulmaktadır. Şekilde, r_2 hedef ile ikinci alıcı arasındaki uzaklığı göstermekte olup (2)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$r_2 = c\tau_2 \quad (2)$$



Şekil 3. İki alıcı olduğu durum için VZ ile konum tespiti

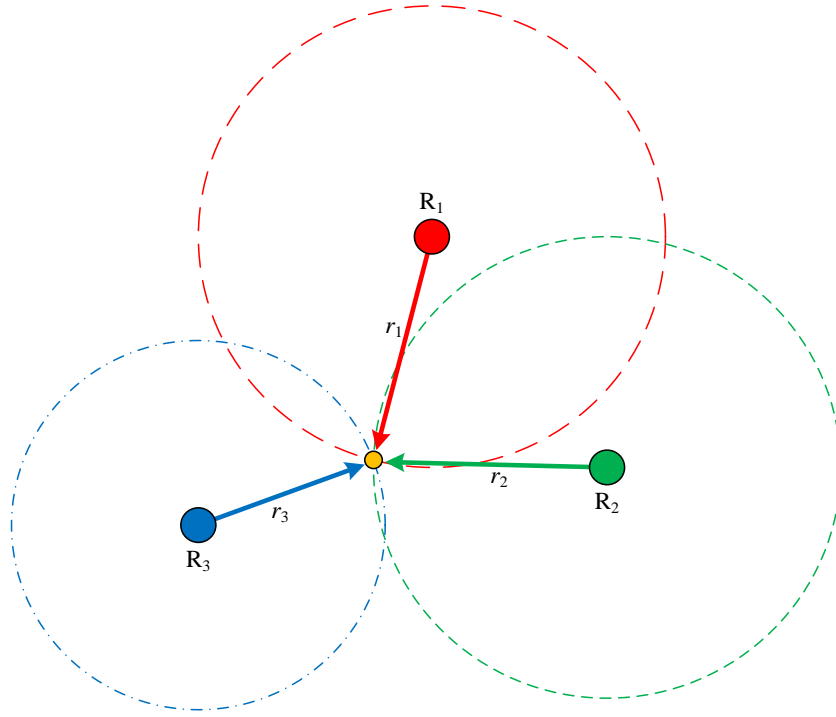
Şekil 4’de de görüldüğü gibi iki boyutlu düzlemde VZ yöntemiyle konum tespiti için en az üç alıcı gerekmektedir. Alıcı sayısının artırılması konumlandırma hatasını azaltmaktadır. Şekilde r_3 hedef ile üçüncü alıcı arasındaki mesafe olup (3)’teki gibi tanımlanmaktadır.

$$r_3 = c\tau_3 \quad (3)$$

VZ yöntemi güvenilirliği ve yüksek doğruluğu nedeniyle konumlandırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakla birlikte bazı eksileri bulunmaktadır. Bunlar:

- Tüm alıcıların eş zamanlı çalışmaları gerekmektedir. Alıcılar arası küçük zaman farkları büyük konumlandırma hatalarına yol açmaktadır.
- Verici-alıcı eş zamanlamasına veya verici sinyalinin alıcı tarafta bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle pasif radar uygulamalarında kullanılamamaktadır.

- Konum tespiti için iki boyutlu düzlemde en az üç ve üç boyutlu uzayda en az dört alıcı gerekmektedir.

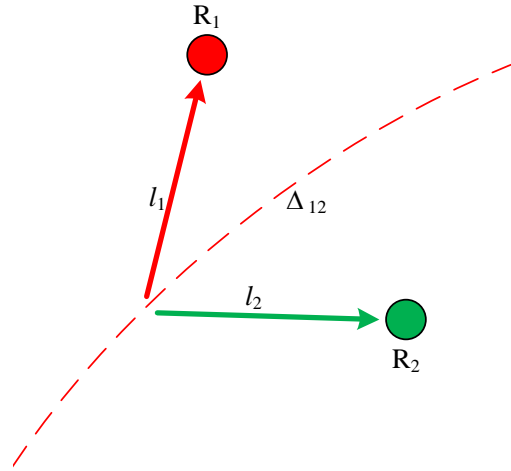


Şekil 4. Üç alıcılı durum için VZ ile konum tespiti

1.3.2. Varış Zamanları Farkı ile Konum Tespiti

Uzamsal olarak ayrı yerleştirilmiş eş zamanlı alıcılara hedeften yayılan sinyal farklı zamanlarda ulaşmakta ve alıcılar arasında varış zamanları farkı (VZF) oluşmaktadır. Bu zaman farkları ile hiperbolik konum hatları tanımlanmakta ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır [37, 38]. VZ yönteminde olduğu gibi VZF tekniğinde de konum tespiti için iki boyutlu düzlemde en az üç veya üç boyutlu uzayda ise en az dört alıcı gerekmektedir.

Şekil 5’de iki alıcılı bir konumlandırma sistemi görülmektedir. Alıcı sayısı iki olduğu için tek zaman farkı ve tek hiperbolik konum hattı (HKH) oluşmaktadır. Hedef bu hat üzerinde herhangi bir noktada bulunmaktadır. Bu nedenle konum tespiti için üçüncü bir alıcı gerekmektedir.

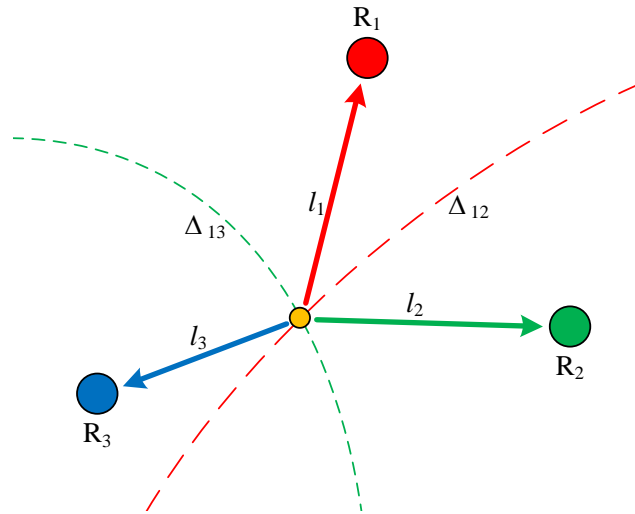


Şekil 5. İki alıcı olduğu durum için VZF ile konum tespiti

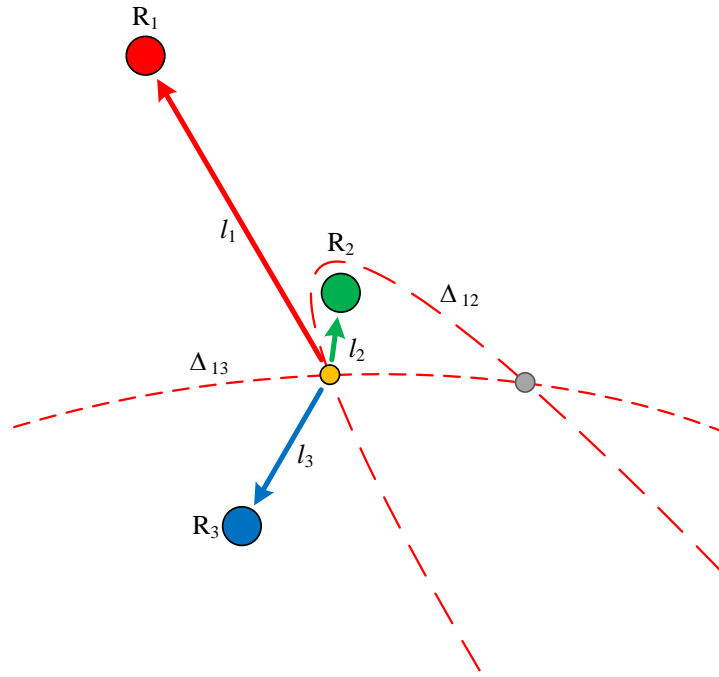
Şekilde l_1 ve l_2 hedef ile alıcılar arasındaki mesafeyi ve Δ_{12} alıcılar arasındaki zaman farkını göstermektedir. Bu zaman farkı (4)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta_{12} = \frac{l_1 - l_2}{c} \quad (4)$$

Şekil 6'da görüldüğü gibi sisteme üçüncü bir alıcı ilave edildiğinde hedef genelde tek noktada konumlandırılmaktadır.

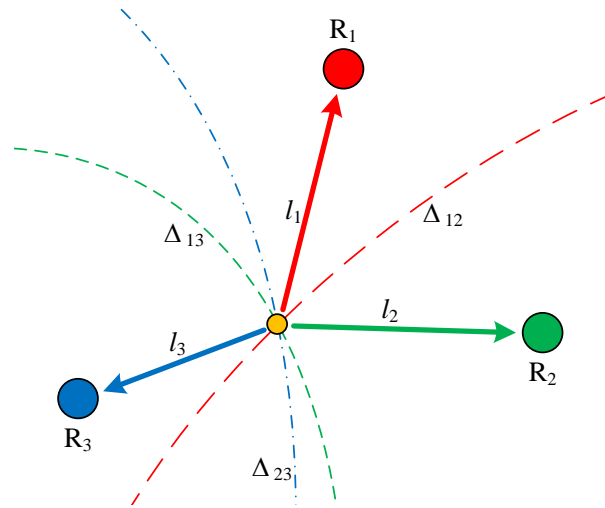


Şekil 6. Üç alıcı ve bağımsız VZF seti ile konum tespiti



Şekil 7. Üç alıcı ve bağımsız set ile konumlandırılmada ikinci hedef noktası

VZF ile konum tespitinde üç alıcı her zaman tek hedef noktasını garanti edemez. Şekil 7’de de görüldüğü gibi bazı durumlarda verici-alıcı geometrisine bağlı olarak ikinci bir hedef noktası da oluşmaktadır. Bu yeni hedef noktasını ortadan kaldırmak için sisteme dördüncü alıcının eklenmesi gerekmektedir.



Şekil 8. Üç alıcı ve tam VZF seti ile konum tespiti

Şekilde l_3 hedef ile üçüncü alıcı arasındaki mesafeyi ve Δ_{13} birinci alıcı ile üçüncü alıcı arasındaki zaman farkını göstermektedir. Δ_{13} (5)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\Delta_{13} = \frac{l_1 - l_3}{c} \quad (5)$$

Üç alıcılı bir konumlandırma sisteminde iki adet bağımsız (Δ_{12} ve Δ_{13}) ve bir tane de bağımlı (Δ_{23}) zaman farkı oluşmaktadır. Tüm zaman farkları kullanılarak konum tespiti yapıldığında doğruluk yükselmekte ancak buna bağlı olarak işlem yükü de artmaktadır. Şekil 8'de Δ_{23} , ikinci alıcı ile üçüncü alıcı arasındaki zaman farkını göstermekte olup (6)'da verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta_{23} = \frac{l_2 - l_3}{c} \quad (6)$$

VZF yönteminin VZ tekniğine göre en önemli üstünlüğü verici-alıcı eş zamanlamasına veya kaynak sinyalinin alıcı tarafta biliniyor olmasına gerek olmamasıdır. Bu özellik yüksek doğruluklu pasif konumlandırma uygulamaları için VZF yöntemini vazgeçilmez kılmaktadır. Buna karşın VZ tekniği VZF yöntemine göre daha güvenilir olup daha az sayıda alıcı ile hedef konumu hakkında daha fazla bilgi vermektedir. Bu iki teknikle elde edilen konum bilgilerinin alıcı sayısına göre karşılaştırması Tablo 1'de sunulmuştur.

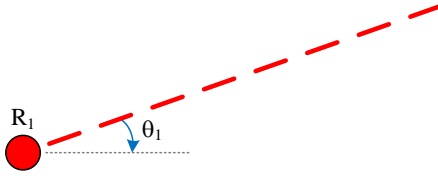
Tablo 1. VZ ve VZF teknikleri ile elde edilen konum bilgisinin alıcı sayısına göre karşılaştırılması

Alıcı Sayısı	Konumu Bilgisi	
	VZ Yöntemi	VZF Yöntemi
1	Hedef çember üzerinde herhangi bir noktada olabilir.	Konum bilgisi elde edilemez.
2	İki hedef noktası tanımlanır.	Hedef hiperbol üzerinde herhangi bir noktada bulunulabilir.
3	Tek hedef noktası oluşur.	Verici-alıcı geometrisine bağlı olarak ikinci bir hedef noktası ortaya çıkabilir.
4	Tek hedef noktası oluşur.	Tek hedef noktası oluşur.

İki yöntem güvenilirlik açısından kıyaslandığında hedefin olası yerini belirten konum hatları önem taşımaktadır. Kaynaktan yayılan sinyalin varış zamanı düzlemde çember olarak tanımlanmakta iken alıcılar arasındaki zaman farkı hiperbol olarak ifade edilmektedir. Çember kapalı bir geometrik şekil olduğu için vericinin alıcıya olan muhtemel uzaklığı sınırlıdır. Ancak hiperbolde hiperbol kolları asimptot doğruları arasında artı ve eksi sonsuza kadar uzandığı için hedef konumunda belirsizliğe yol açmaktadır. Bu nedenle zaman farkları ile konum tespitinde çok büyük konumlandırma hatalarının oluşmasını engellemek amacıyla arama bölgesi sınırlandırılmaktadır.

1.3.3. Varış Doğrultusu ile Verici Konumu Tespiti

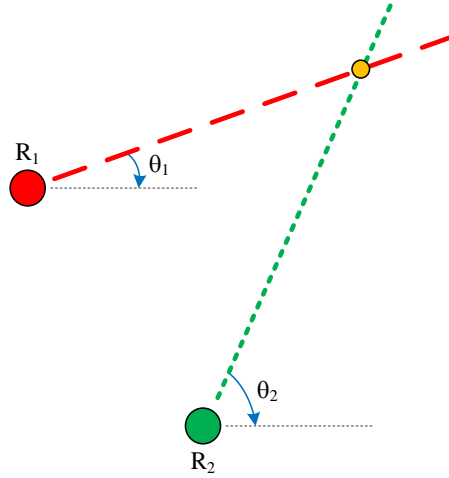
Kaynaktan yayılan sinyalin alıcıdaki anten dizisindeki en büyük gücü verdiği yön varış doğrultusunu vermektedir. Varış zamanı (VZ) ve varış zamanları farkı (VZF) yöntemlerinde olduğu gibi bu teknikte de alıcı konumlarının biliniyor olması gerekmektedir. Bu iki teknikten farklı olarak ise varış doğrultusu (VD) yönteminde konum tespiti için düzlemde iki ve uzayda üç alıcı yeterlidir [39, 40]. Şekil 9 ve Şekil 10'da alıcı sayısına bağlı olarak VD yöntemi ile elde edilen konum bilgisi verilmiştir.



Şekil 9. Tek alıcı için VD ile konum tespiti

Şekil 9'da da görüldüğü gibi tek alıcı olduğu durumda hedef geliş doğrultusu üzerinde herhangi bir noktada bulunmaktadır. (x, y) hedef koordinatları ve (x_1, y_1) ilk alıcının koordinatları olmak üzere iki boyutlu düzlemde θ_1 varış doğrultusu (7)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{x - x_1}{y - y_1} \right) \quad (7)$$



Şekil 10. Varış doğrultusu yöntemi ile iki alıcı için konum tespiti

Alıcı sayısı ikiye çıkartıldığında ise iki varış doğrultusu elde edilir ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılır. (x_2, y_2) ikinci alıcının koordinatları olmak üzere Şekil 10'da gösterilen θ_2 varış doğrultusu (8)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{x - x_2}{y - y_2} \right) \quad (8)$$

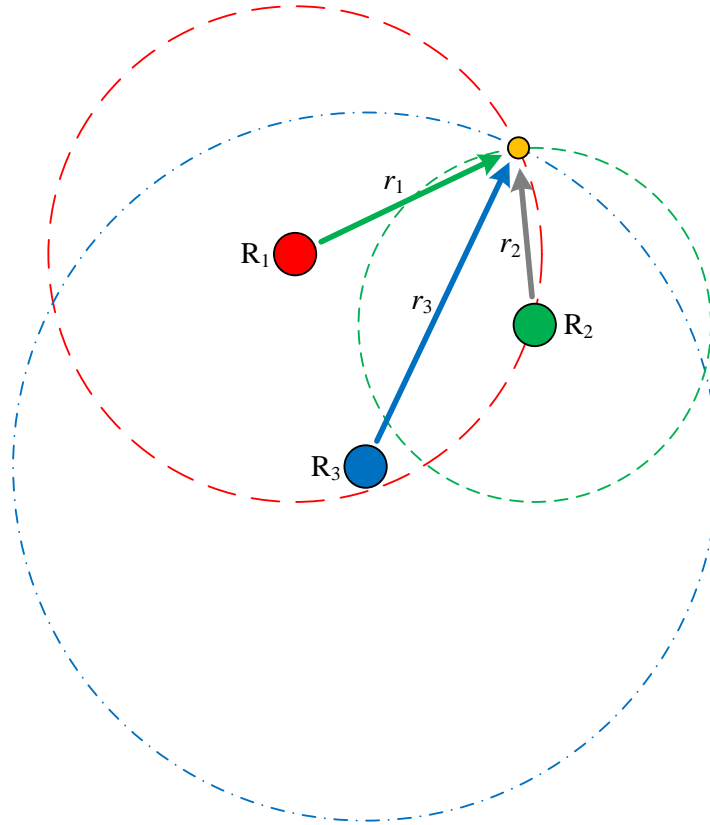
VD yöntemi VZF tekniği gibi alıcı tarafta verici sinyalinin bilinmesine veya verici-alıcı eş zamanlamasına ihtiyaç duymadığı için pasif konum tespitinde kullanılmaktadır. Ancak doğruluğu VZF yöntemi kadar yüksek değildir. Özellikle hedef alıcılardan uzaklaştıkça doğrultu hatları birbirleriyle paralelleşmekte ve büyük konumlandırma hatalarına yol açmaktadır. Yöntemin bir diğer eksisi ise alıcı tarafta gelişmiş anten dizilerine ve radyo frekansı (RF) devrelerine gereksinim duyulmasıdır. Bu donanımlar sistemin maliyetini, karmaşıklığını ve enerji tüketimini artırmaktadır. Buna karşın yöntemin daha az sayıda alıcı ile konum tespiti yapabilmesi ve pasif konum tespitine imkân vermesi en önemli artılarıdır.

1.3.4. Alınan Sinyal Gücü ile Konumlandırma

Verici sinyalinin alıcıdaki gücü hedefin uzaklığı hakkında bilgi taşımaktadır. Alınan sinyal gücü (ASG) ile konum tespiti VZ yöntemiyle oldukça benzerdir. Ancak hedeften

yayılan işaretin çıkış gücünün ve sinyalin yayıldığı ortamın parametrelerinin (zayıflatma, çok yolluluk, vb.) biliniyor olması gerekmektedir. Sinyalin alıcılardaki gücüne bakılarak, hedefin uzaklığı kestirildikten sonra Şekil 11’de de görüldüğü gibi alıcı merkezli bir çemberler tanımlanmakta ve hedef bu çemberlerin kesişim noktasında konumlandırılmaktadır [41, 42]. VZ ve VZF yöntemlerinde olduğu gibi bu teknikte de konum tespiti için düzlemde en az üç ve uzayda en az dört alıcı gerekmektedir.

ASG yönteminin en önemli artışı hedefin alıcılarda veya alıcıların birbirleriyle eş zamanlı olmasının gerekmemesidir. Ayrıca basit elektronik donanımlarla sinyal gücü ölçümü mümkün olması sistemin karmaşıklığını maliyetini ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Bu özelliği yöntemin kablosuz algılayıcı ağlarında, mobil sistemlerde ve robotik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Doğruluğunun nispeten düşük oluşu, ortam parametrelerinin ve verici sinyal gücünün biliniyor olması gerekliliği yöntemin başlıca eksileridir.



Şekil 11. Üç alıcılı durum için ASG ile konum tespiti

1.3.5. Melez Konumlandırma Yöntemleri

Konum tespitinde kullanılan varış zamanı (VZ), varış zamanı farkı (VZF), varış doğrultusu (VD), alınan sinyal gücü (ASG) ve varış frekansları farkı (VFF) tekniklerinin birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Konumlandırma doğruluğunun ve güvenilirliğinin arttırılması amacıyla bu yöntemler birlikte kullanılarak melez teknikler geliştirilmiştir. Literatürdeki melez yöntemler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

Melez VZ/VZF yöntemleri: [43]'de, hassas hedef takibi için VZ ve VZF ölçümlerini birlikte kullanan melez birleşik Kalman izleme (MBKI) tekniği sunulmuştur. Önerilen yöntem mevcut algoritmalarla kıyaslandığında özellikle yetersiz sinyal kaynağının olduğu ortamlarda daha yüksek doğruluğa sahiptir. [44]'de, geri dönüş zamanının bilinmediği işbirlikçi kablosuz algılayıcı ağlarında (İKAA) çoklu hedef düğümlerinin koordinatlarının bulunması için iki yönlü (gidiş-dönüş) varış zamanı (İYVZ) ve VZF ölçümlerini kullanan en çok olabilirlik (EÇO) tabanlı bir algoritma önerilmiş ve yöntemin konumlandırma doğruluğunda önemli bir artış sağladığı benzetim sonuçları ile göstermiştir. [45]'de, otomatik konum tespitinde (OKT) VZ ve VZF ölçümleri birlikte kullanımının istatistiksel konum hatasında ciddi bir azalma sağladığı ortaya konmuştur.

Melez VZ/VD teknikleri: [46]'da, hedef ile alıcılar arasında doğrudan görüşün olmamasından kaynaklanan etkileri azaltmaya yönelik VZ ve VD ölçümlerini kullanan yeni bir yöntem tanıtılmıştır. Ayrıca sunulan tekniğin mevcut melez algoritmalarından daha yüksek başarımda olduğu benzetim sonuçlarıyla ortaya konmuştur. [47]'de doğrudan görüşün olmadığı (DGO) kablosuz konumlandırma sistemlerinde VZ ve VD ölçümleri ile konum tespiti yapan yeni bir yöntem önerilmiş ve mevcut tekniklerle kıyaslanmıştır. [48]'de kod bölümlü çoklu erişim (KBÇE) ağlarında VZ ve VD tabanlı yeni bir teknik sunulmuş ve yöntemin geleneksel algoritmalarından daha yüksek başarıma ve yakınsama olasılığına sahip olduğu benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Melez VZ/ASG algoritmaları: [49]'da yapay sinir ağları (YSA) tabanlı bina içi konum tespit uygulamalarında DGO'dan kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak amacıyla hem VZ ve hem de ASG ölçümlerini kullanan yeni bir teknik önerilmiş ve geleneksel algoritmalarla karşılaştırılmıştır. [50]'de deniz kıyısı gözetleme sistemlerinde konum tespiti ve geniş kapsama alanı için VZ ve ASG verilerini kullanan yeni bir yöntem sunulmuştur. [51]'de çok

geniş bantlı (ÇGB) konumlandırma sistemlerinde VZF ve ASG ölçümleri ile hedef koordinatlarını belirleyen EÇO tabanlı bir algoritma tanıtılmıştır.

Melez VZF/VD yöntemleri: [52]'de, geniş bantlı çoklu erişim (GBÇE) kablosuz haberleşme sistemlerinde mobil kullanıcının yerini yüksek doğrulukla ve düşük maliyetle bulmak için VZF ve VD ölçümlerini kullanan en küçük kareler (EKK) tabanlı yeni bir yöntem sunulmuştur. Ayrıca önerilen tekniğin yalnızca VZF ile konum tespiti yapan algoritmalarından daha yüksek doğrulukta olduğu gösterilmiştir. [53]'de, bina içi çok geniş bantlı (ÇGB) sistemlerde DGO'dan kaynaklanan kestirim hatalarını azaltmak amacıyla VZF ve VD verilerini kullanan genişletilmiş Kalman filtresi (GKF) tabanlı yeni bir algoritma tanıtılmış ve önerilen tekniğin konumlandırma hatasını azalttığı benzetim sonuçları ile ortaya konulmuştur. [54]'de bina içi konumlandırma sistemlerinde çok yolluluk parametrelerinin kestirim hatasını azaltmak ve konum tespit doğruluğunu arttırmak için VZF ve VD bilgilerini kullanan bir yöntem tanıtılmıştır. Ayrıca benzetim sonuçları ile önerilen tekniğin konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağladığı gösterilmiştir.

Melez VZF/ASG teknikleri: [55]'de, geniş bantlı kod bölmeli çoklu erişim (GBKBÇE) sinyalleri ile bina içi konumlandırmada hem VZF ve hem de ASG ölçümlerini kullanan yeni bir yöntem sunulmuştur. Önerilen tekniğin yalnızca VZF ile konum tespiti yapan algoritmalarından daha yüksek başarıma sahip olduğu deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. [56]'da, yeni nesil hücreli sistemler için gereken konumlandırma doğruluğunu elde etmek amacıyla VZF ve ASG verilerini birleştirerek, kullanıcı koordinatlarını belirleyen bir teknik tanıtılmıştır. [57]'de, farklı yapıdaki kablosuz hücreli ağlarda bulunan eş zamanlı olmayan kısa mesafeli röleler, gezgin algılayıcı düğümleri ve eş zamanlı istasyonların yerlerini tespit etmek amacıyla VZF ve ASG teknikleri tabanlı bir yöntem tanıtılmıştır.

Melez VD/ASG algoritmaları: [58]'de, kablosuz ağlarda VD ve ASG verilerinin birleşimi ile konum tespiti yapan melez bir yöntemin başarımı farklı gürültü dağılımları için incelenmiştir. [59]'da, farklı yapıdaki algılayıcı dizilerinde elde edilen ASG ve VD bilgileri ile verici koordinatlarını bulan EKK ve EÇO tabanlı iki yeni teknik önerilmiştir. [60]'da, kablosuz algılayıcı ağlarında (KAB) eş zamanlı olmayan referans düğümlerin kendi koordinatlarını belirlemesini sağlayan iki adımlı bir yöntem sunulmuştur. Önerilen teknikte ilk adımda referans düğümün diğer düğümlerle olan mesafesi ASG ölçümleri ile bulunmakta ve ardından ikinci adımda VD bilgisi de kullanılarak, düğüm koordinatları tespit edilmektedir.

Melez VZ/VZF/VD yöntemi: [61]'de, DGO durumunda konumlandırma doğruluğunu arttırmak için VZ, VZF ve VD tekniklerinin birlikte kullanan bir yöntem sunulmuştur.

Melez VZ/VZF/ASG tekniği: [62]'de, ASG, VZ, VZF ve melez yöntemlerin konumlandırma başarımları benzetim sonuçlarıyla kıyaslanmış ve hedef koordinatları EÇO ve ağırlıklandırılmış en küçük kareler (AEKK) algoritmaları ile tespit edilmiştir.

Melez VZ/VZF/VD/ASG algoritması: [63]'de, geniş bantlı kablosuz sistemlerde (GBKS) hareketli baz istasyonunun konumunu bulmak için ASG, VZ, VD ve VZF ölçümlerini kullanan melez bir teknik tanıtılmıştır. Ayrıca önerilen yöntem yalnızca ASG, VD, VZ veya VZF ile konum tespiti yapan algoritmalarla kıyaslanmış ve sunulan tekniğin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu benzetim sonuçları ile ortaya konmuştur.

Melez VZ/VD/VFF yöntemi: [64]'de, DGO durumda VZ, VD ve VZF ölçümleri ile mobil terminallerin konumunu ve hızını kestiren, EKK tabanlı basit bir teknik önerilmiştir.

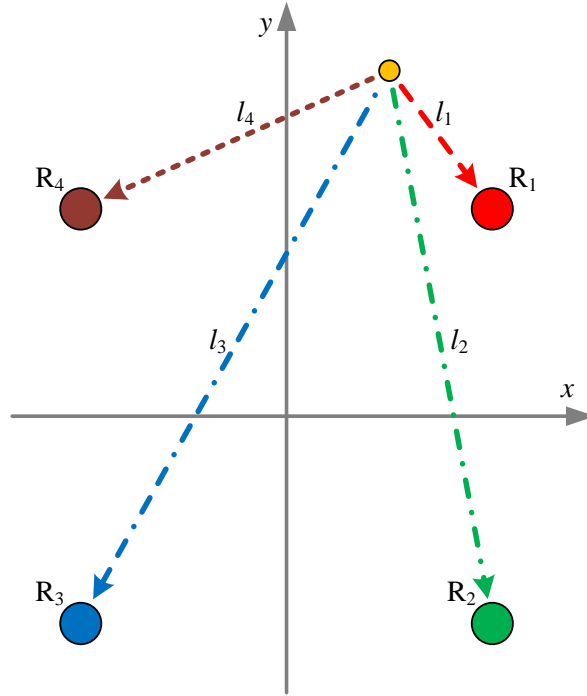
Melez VZF/VFF teknikleri: [65]'de, hareketli bir vericinin koordinatları bir algılayıcı çiftinden alınan VZF ve VFF ölçümleriyle öz yinelemeli olarak bulunmuştur. Ayrıca önerilen yöntemin başarımı GKF tabanlı teknikler ve teorik limite karşılaştırılmıştır. [66]'da, algılayıcı ağı ile hareketli bir kaynağın koordinatları VZF ve VFF verileri kullanılarak, AEKK tabanlı bir algoritmayla tespit edilmiştir. Önerilen yöntemin mevcut yöntemlerden daha yüksek doğrulukta olduğu benzetim çalışmalarıyla ortaya konmuştur. [67]'de, çoklu alıcılarla hareketli bir hedefin koordinatları ve hızı VZF ve VFF bilgilerini kullanan sınırlandırılmış ve ağırlıklandırılmış en küçük kareler (SAEKK) yöntemi ile bulunmuştur.

Melez VZF/VD/VFF algoritmaları: [68]'de konum kestirim başarımını ve izleme doğruluğunu arttırmak amacıyla VZF, VD ve VFF ölçümlerini kullanan melez bir teknik sunulmuştur. [69]'da, ağırlıklandırılmış VZF, VD ve VFF verileri ile hedef koordinatlarını bulan bir yöntem önerilmiş ve teknik yalnızca VZF, VD veya VFF bilgisi ile konumlandırma yapan algoritmalarla kıyaslanmıştır.

1.4. Varış Zamanları Farkı Setleri

N alıcılı bir konumlandırma sisteminde M tane VZF oluşmaktadır. Bu M zaman farkından $N - 1$ tanesi bağımsız olup kestirim hatası olmadığı durumda diğer VZF'ler bağımsız set kullanılarak da türetilabilmektedir. Literatürdeki konumlandırma yöntemlerinin

çoğu $N - 1$ zaman farkından oluşan bağımsız (küresel) seti kullanmaktadır [70, 71]. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı yöntemler ise hem bağımsız hem de tam set ile konum tespiti yapabilmektedirler [72, 73]. Şekil 12’de dört alıcılı bir konumlandırma sistemi görülmektedir. Verilen sistem üzerinden VZF setleri bu setlerin elde edilişi ve özellikleri açıklanacaktır.



Şekil 12. Dört alıcılı konumlandırma sistemi ile konum tespiti

Bağımsız set M_B tane VZF’den ve tam set M_T adet zaman farkından oluşmaktadır ve sayıları (9) ve (10) numaralı eşitliklerle hesaplanmaktadır.

$$M_B = N - 1 \quad (9)$$

$$M_T = \frac{N(N - 1)}{2} \quad (10)$$

Tam VZF seti alıcılar arasında oluşması muhtemel tüm zaman farklarının içermektedir ve dört alıcılı sistem için (11)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{Tam VZF seti: } \Delta_{12}, \Delta_{13}, \Delta_{14}, \Delta_{23}, \Delta_{24} \text{ ve } \Delta_{34} \quad (11)$$

Tam set kestirim hatası olmadığı durumda (12) ve (13)'de verilen kurallar ile bağımsız set kullanılarak da türetilebilir.

$$\Delta_{ij} = -\Delta_{ji} \quad (12)$$

$$\Delta_{ij} + \Delta_{jk} = \Delta_{ik} \quad (13)$$

Burada i, j ve k alıcı indislerini göstermektedir. Tam set bağımsız sete ilave olarak Δ_{23} , Δ_{24} ve Δ_{34} zaman farklarını da içermektedir. Bu VZF'ler (14) – (16) numaralı eşitliklerdeki gibi elde edilmektedir.

$$\Delta_{23} = \Delta_{13} - \Delta_{12} = \Delta_{13} + \Delta_{21} = \Delta_{24} + \Delta_{43} = \Delta_{23} \quad (14)$$

$$\Delta_{24} = \Delta_{14} - \Delta_{12} = \Delta_{14} + \Delta_{21} = \Delta_{24} + \Delta_{44} = \Delta_{24} \quad (15)$$

$$\Delta_{34} = \Delta_{14} - \Delta_{13} = \Delta_{14} + \Delta_{31} = \Delta_{34} + \Delta_{44} = \Delta_{34} \quad (16)$$

1.5. Cramer-Rao Alt Sınırı

Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) hata tabanı olmayan herhangi bir kestirim yönteminin ulaşabileceği en küçük karesel hata değerini vermektedir. CRAS'yi bulmak için öncelikle Fisher bilgi matrisinin (FBM) elde edilmesi gerekmektedir. Ardından bu matrisin tersi alınıp köşegen elemanları toplanarak, CRAS hesaplanmaktadır. VZF tabanlı yöntemler için teorik limit [74]'de (17)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\Phi = c^2(\mathbf{G}_t^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{G}_t)^{-1} \quad (17)$$

Burada, Φ FBM'nin tersini, \mathbf{G}_t Taylor katsayı matrisini (TKM), \mathbf{Q} VZF gürültüsü özdeğişinti matrisi, $(.)^T$ devrik işlemini ve $(.)^{-1}$ matris tersini göstermektedir. İki boyutlu düzlemde ilk

alıcısı referans olarak seçilmiş küresel seti için TKM (18) – (20) kullanılarak elde edilmektedir.

$$\mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_2 - x}{l_2} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_2 - y}{l_2} \\ \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_3 - x}{l_3} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_3 - y}{l_3} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_N - x}{l_N} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_N - y}{l_N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 2} \quad (18)$$

$$l_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (19)$$

$$l_N = \sqrt{(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2} \quad (20)$$

Burada, (x, y) hedef koordinatlarını, (x_1, y_1) referans alıcının konumunu, (x_N, y_N) N . alıcının koordinatlarını, l_1 kaynak ile referans alıcı arasındaki mesafeyi ve l_N 'de verici ile N . alıcı arasındaki uzaklığı göstermektedir. Eğer alıcılardaki gürültü gücü tayf yoğunluğu (GTY) benzer ise zaman farkı özdeğişinti matrisinin katsayıları (21)'de verildiği gibi köşegen elemanları 1.0 ve diğerleri 0.5 olacak şekilde alınabilir [74].

$$\mathbf{Q} = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.0 & \dots & 0.5 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.5 & \dots & 1.0 \end{bmatrix}_{N-1 \times N-1} \quad (21)$$

Burada, σ_d^2 zaman farkı kestirim hatasının değişintisini ve N alıcı sayısını göstermektedir. \mathbf{Q} matrisinin tersi (22) kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

$$\mathbf{Q}^{-1} = \frac{1}{\sigma_d^2} \begin{bmatrix} 2 - \frac{2}{N} & \dots & -\frac{2}{N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{2}{N} & \dots & 2 - \frac{2}{N} \end{bmatrix}_{N-1 \times N-1} \quad (22)$$

FBM elde edildikten sonra (24)'de de görüldüğü gibi matrisin köşegen elemanları toplanarak teorik limit hesaplanmaktadır. Cramer-Rao alt sınırı (CRAS), karesel konumlandırma hatasının düşebileceği en küçük değeri gösteren pozitif bir reel sayıdır.

$$CRAS = tr(\Phi) \quad (23)$$

Burada, $tr(\cdot)$ köşegen elemanların toplamı işlemini göstermektedir. Üç boyutlu uzayda, teorik limitin hesabı yukarıda açıklandığı gibidir. Sadece TKM'nin (24) – (26)'da ifade edildiği gibi üçüncü boyuta (z) göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

$$\mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_2 - x}{l_2} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_2 - y}{l_2} & \frac{z_1 - z}{l_1} - \frac{z_2 - z}{l_2} \\ \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_3 - x}{l_3} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_3 - y}{l_3} & \frac{z_1 - z}{l_1} - \frac{z_3 - z}{l_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_1 - x}{l_1} - \frac{x_N - x}{l_N} & \frac{y_1 - y}{l_1} - \frac{y_N - y}{l_N} & \frac{z_1 - z}{l_1} - \frac{z_N - z}{l_N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 3} \quad (24)$$

$$l_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} \quad (25)$$

$$l_N = \sqrt{(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 + (z - z_N)^2} \quad (26)$$

Burada, (x, y, z) hedef koordinatlarını, (x_1, y_1, z_1) referans alıcının konumunu ve (x_N, y_N, z_N) N . alıcının koordinatlarını göstermektedir.

1.6. Varış Zamanları Farkı Tabanlı Konum Tespit Algoritmaları

VZF tabanlı algoritmalar doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK) [75] ve en çok olasılık (EÇO) [76] gibi doğrusal olmayan yöntemler, doğrudan hedef ile alıcılar arasında oluşan hiperbolik denklemleri kullanarak, konum tespiti yapmaktadırlar. Bu tekniklerin doğrulukları genelde yüksek olmasına karşın optimizasyon maliyet fonksiyonları çok modlu olduğu için global

minimumu yakınsamaları her zaman garanti edilemez. Doğrusal en küçük kareler (DEKK) [77] ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) [78] gibi lineer algoritmalarda ise hedef konumu doğrusal olmayan denklemler lineerleştirilerek bulunmakta olup optimization maliyet fonksiyonları tek modludur ve her zaman global çözümün elde edilmesi garantidir [27]. Ancak doğrulukları lineerleştirme işlemi nedeniyle doğrusal olmayan yöntemlere göre nispeten daha düşüktür. Bu kısımda VZF tabanlı konumlandırma tekniklerinden kısaca bahsedilecektir.

1.6.1. Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Yöntemi

Bu yöntemde en küçük kareler (EKK) tabanlı maliyet fonksiyonu minimize edilerek, kaynak konumu (27) – (31) numaralı eşitliklerle bulunmaktadır. Algoritma oldukça basit olmasının yanında zaman farkı gürültüsü karakteristiği bilinmediği durumlar için pratik bir çözümdür [27].

$$\hat{\mathbf{x}}^{k+1} = \hat{\mathbf{x}}^k - \mu \nabla (J_{NLS}(\hat{\mathbf{x}}^k)) \quad (27)$$

$$\nabla (J_{NLS}(\hat{\mathbf{x}}^k)) = 2 \begin{bmatrix} \sum_{i=2}^N \frac{(c\hat{\Delta}_{1i} - \hat{l}_1 + \hat{l}_i)(x_i - \hat{x}^k)}{\hat{l}_i} \\ \sum_{i=2}^N \frac{(c\hat{\Delta}_{1i} - \hat{l}_1 + \hat{l}_i)(y_i - \hat{y}^k)}{\hat{l}_i} \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\hat{l}_1 = \sqrt{(x_1 - \hat{x}^k)^2 + (y_1 - \hat{y}^k)^2} \quad (29)$$

$$\hat{l}_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}^k)^2 + (y_i - \hat{y}^k)^2} \quad (30)$$

$$\hat{\mathbf{x}}^k = [\hat{x}^k \quad \hat{y}^k]^T \quad (31)$$

Burada, i alıcı indisini, k iterasyon indisini, $\hat{\mathbf{x}}$ hedefin kestirilen koordinatlarını, μ adım büyüklüğünü, $J_{NLS}(\hat{\mathbf{x}})$ maliyet fonksiyonunu, ∇ yön türevini, \hat{l}_1 hedefin kestirilen konumu ile ilk alıcı arasındaki mesafeyi ve \hat{l}_i hedefin kestirilen konumu ile i . alıcı arasındaki mesafeyi

göstermektedir. (27)'de en küçük kareler tekniğinin yineleme ifadesi görülmektedir. Durma koşulu sağlandığında $\hat{\mathbf{x}}^{k+1}$ hedefin kestirilen koordinatlarını vermektedir. DOEKK yönteminin küresel minimuma yakınsaması için uygun başlatma değerleri ($\hat{\mathbf{x}}^b, b = 0$) gerekte olup, bu değerler DEKK algoritması ile hesaplanmaktadır.

1.6.2. En Çok Olabilirlik Algoritması

Gürültü dağılımının bilindiği varsayıldığında, en çok olabilirlik (EÇÖ) yöntemi zaman farkı ölçümlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonunu maksimize ederek, kaynak konumu bulmaktadır [27]. VZF gürültüsünün sıfır ortalamalı ve Gauss dağılımlı olduğu durumda verici koordinatlarını (32) – (36) numaralı eşitliklerle tespit edilmektedir.

$$\hat{\mathbf{x}}^{k+1} = \hat{\mathbf{x}}^k - \mu \nabla (J_{ML}(\hat{\mathbf{x}}^k)) \quad (32)$$

$$\nabla (J_{ML}(\hat{\mathbf{x}}^k)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial J_{ML}(\hat{\mathbf{x}}^k)}{\partial \hat{\mathbf{x}}^k} \\ \frac{\partial J_{ML}(\hat{\mathbf{x}}^k)}{\partial \hat{\mathbf{y}}^k} \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$J_{ML}(\hat{\mathbf{x}}^k) = \mathbf{e}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{e} \quad (34)$$

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} c\hat{\Delta}_{12} - \hat{l}_1 + \hat{l}_2 \\ \vdots \\ c\hat{\Delta}_{1N} - \hat{l}_1 + \hat{l}_N \end{bmatrix}_{N-1} \quad (35)$$

$$\mathbf{Q}^{-1} = \frac{1}{\sigma_d^2} \begin{bmatrix} 2 - \frac{2}{N} & \dots & -\frac{2}{N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{2}{N} & \dots & 2 - \frac{2}{N} \end{bmatrix}_{N-1 \times N-1} \quad (36)$$

Burada, $J_{ML}(\hat{\mathbf{x}})$ maliyet fonksiyonunu ve \mathbf{e} kestirim hatası vektörünü göstermektedir. Durma koşulu sağlandığında, $\hat{\mathbf{x}}^{k+1}$ kaynak koordinatlarını vermektedir. DOEKK tekniğinde olduğu gibi EÇÖ algoritması da uygun başlatma değerlerine ihtiyaç duymakta olup bu değerler DEKK ile hesaplanmaktadır.

1.6.3. Doğrusal En Küçük Kareler Yöntemi

Bu algoritmada verici-alıcı geometrisine bağlı olarak oluşan lineer olmayan eşitlikler doğrusal denklemlere çevrilerek, (37) – (42)'de verilen ifadelerle konum tespiti yapılmaktadır [27]. Doğrusal en küçük kareler (DEKK) ile kestirilen hedef koordinatları DOEKK ($\hat{\mathbf{x}}^k$), EÇO ($\hat{\mathbf{x}}^k$) ve ADEKK (l_1) yöntemlerinde uygun başlatma değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$\boldsymbol{\theta}_{LLS} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (37)$$

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & c\Delta_{12} \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & c\Delta_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1 - x_N & y_1 - y_N & c\Delta_{1N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 3} \quad (38)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} (c\Delta_{12})^2 - (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 \\ (c\Delta_{13})^2 - (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 \\ \vdots \\ (c\Delta_{1N})^2 - (x_1 - x_N)^2 - (y_1 - y_N)^2 \end{bmatrix}_{N-1} \quad (39)$$

$$\boldsymbol{\theta}_{LLS} = [x_1 - x_2 \quad y_1 - y_2 \quad l_1]^T \quad (40)$$

$$\hat{\mathbf{x}} = [[\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_1 + x_1 \quad [\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_2 + y_1]^T \quad (41)$$

$$R_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (42)$$

Burada, $\boldsymbol{\theta}_{LLS}$ çözüm vektörünü, \mathbf{A} ölçüm matrisi, \mathbf{b} karesel hata vektörünü ve l_1 hedef ile ilk alıcı arasındaki mesafeyi göstermektedir.

1.6.4. Ağırlıklandırılmış Doğrusal En Küçük Kareler Algoritması

Bu yöntem DEKK algoritmasının ağırlıklandırılmış hali olup daha yüksek doğruluğa sahiptir. Ancak ağırlık hesabı için lineer eşitliklerdeki hatanın ortalamasının ve

özdeğişintisinin biliniyor olması gerekmektedir. Bu teknikte verici konumu (43) – (48) numaralı eşitliklerle bulunmaktadır [27].

$$\boldsymbol{\theta}_{WLLS} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b} \quad (43)$$

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & c\Delta_{12} \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & c\Delta_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1 - x_N & y_1 - y_N & c\Delta_{1N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 3} \quad (44)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} (c\Delta_{12})^2 - (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 \\ (c\Delta_{13})^2 - (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 \\ \vdots \\ (c\Delta_{1N})^2 - (x_1 - x_N)^2 - (y_1 - y_N)^2 \end{bmatrix}_{N-1} \quad (45)$$

$$\mathbf{W} \approx \left[4 \text{diag} \left([\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_3 - c\Delta_{12}, \dots, [\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_3 - c\Delta_{1N} \right) \mathbf{Q} \right. \\ \left. \times \text{diag} \left([\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_3 - c\Delta_{12}, \dots, [\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_3 - c\Delta_{1N} \right) \right]^{-1} \quad (46)$$

$$\boldsymbol{\theta}_{WLLS} = [x_1 - x_2 \quad y_1 - y_2 \quad l_1]^T \quad (47)$$

$$\hat{\mathbf{x}} = \left[[\hat{\boldsymbol{\theta}}_{WLLS}]_1 + x_1 \quad [\hat{\boldsymbol{\theta}}_{WLLS}]_2 + y_1 \right]^T \quad (48)$$

Burada, $\boldsymbol{\theta}_{WLLS}$ çözüm vektörünü, \mathbf{W} ağırlıklandırma matrisini ve $\text{diag}(\cdot)$ köşegen matris tanımlamasını göstermektedir. \mathbf{W} matrisinin hesabında öncelikle DEKK yöntemi ile $[\hat{\boldsymbol{\theta}}_{LLS}]_3$ mesafesinin kestirilmesi gerekmektedir.

1.7. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi

Varış zamanları farkı ortalama (VZFO) yöntemi 1972 yılında Schmidt [11] tarafından üç alıcı için önerilmiş ve 1996 yılında yine Schmidt [12] tarafından geliştirilmiştir. Yöntem VZF kestirim hatası olmadığı durumda kapalı bir çevrim oluşturan zaman farklarının toplamı

sıfırdır ilkesine dayanmaktadır. Teknik kestirilmiş zaman farklarına uygulandığında VZF gürültüsünü azaltmakta ve dolayısıyla konumlandırma doğruluğunu arttırmaktadır. Kestirilen zaman farkı (49)'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\widehat{\Delta} = \Delta + n_d \quad (49)$$

Burada, Δ gerçek zaman farkını, $\widehat{\Delta}$ kestirilen VZF'yi ve n_d kestirim hatasını göstermektedir. Yöntemin genel ifadesi (50)'de ve kural seti (51) – (53)'de verilmiştir. Kural seti yalnızca gerçek ve ortalanan zaman farkları için geçerlidir.

$$\widetilde{\Delta}_{ij} = \widehat{\Delta}_{ij} - \frac{1}{N} \sum_{k \neq i, j} (\widehat{\Delta}_{ij} + \widehat{\Delta}_{jk} + \widehat{\Delta}_{ki}), \quad 1 \leq i < j \leq N \quad (50)$$

$$\widetilde{\Delta}_{ii} = 0 \quad (51)$$

$$\widetilde{\Delta}_{ij} = -\widetilde{\Delta}_{ji} \quad (52)$$

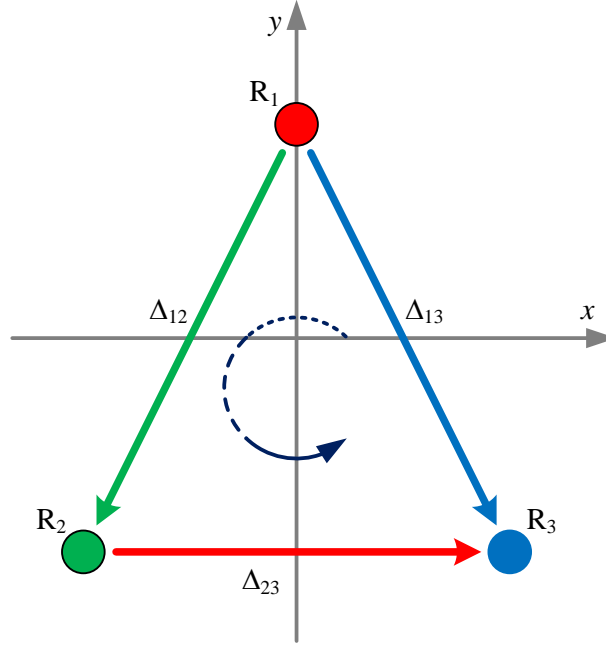
$$\widetilde{\Delta}_{ik} = \widetilde{\Delta}_{ij} + \widetilde{\Delta}_{jk} \quad (53)$$

Burada, $\widetilde{\Delta}$ ortalanan zaman farkını göstermektedir. Şekil 13'de görülen üç alıcı için (50) ile tanımlanan VZF yönteminin genel ifadesi kullanılarak, (54) – (56) numaralı denklemler elde edilmektedir.

$$\widetilde{\Delta}_{12} = \widehat{\Delta}_{12} - \frac{1}{3} (\widehat{\Delta}_{12} + \widehat{\Delta}_{23} + \widehat{\Delta}_{31}) \quad (54)$$

$$\widetilde{\Delta}_{13} = \widehat{\Delta}_{13} - \frac{1}{3} (\widehat{\Delta}_{13} + \widehat{\Delta}_{32} + \widehat{\Delta}_{21}) \quad (55)$$

$$\widetilde{\Delta}_{23} = \widehat{\Delta}_{23} - \frac{1}{3} (\widehat{\Delta}_{23} + \widehat{\Delta}_{31} + \widehat{\Delta}_{12}) \quad (56)$$



Şekil 13. Üç alıcılı konumlandırma sistemi ve VZF vektörleri

(54) – (56) numaralı eşitliklerin parantez içleri (52)'de verilen kuralla yeniden düzenlenerek, (57) – (59) oluşturulmaktadır.

$$\tilde{\Delta}_{12} = \hat{\Delta}_{12} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \quad (57)$$

$$\tilde{\Delta}_{13} = \hat{\Delta}_{13} - \frac{1}{3}(-\hat{\Delta}_{12} + \hat{\Delta}_{13} - \hat{\Delta}_{23}) \quad (58)$$

$$\tilde{\Delta}_{23} = \hat{\Delta}_{23} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \quad (59)$$

(57) – (59) vektör/matris şeklinde yazıldığında (60) ve (61) numaralı denklemler elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta}_{12} \\ \tilde{\Delta}_{13} \\ \tilde{\Delta}_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\Delta}_{12} \\ \hat{\Delta}_{13} \\ \hat{\Delta}_{23} \end{bmatrix} - \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\Delta}_{12} \\ \hat{\Delta}_{13} \\ \hat{\Delta}_{23} \end{bmatrix} \quad (60)$$

$$\tilde{\Delta} = \hat{\Delta} - \frac{1}{N} \mathbf{A} \hat{\Delta} \quad (61)$$

Burada, $\tilde{\Delta}$ ortalanan zaman farkı vektörünü, $\hat{\Delta}$ kestirilen VZF vektörünü ve \mathbf{A} 'da katsayı matrisini göstermektedir.

Ortalama işleminden sonra Şekil 13'deki kapalı bir çevrim oluşturan $\Delta_{12} + \Delta_{23} - \Delta_{13}$ zaman farklarının toplamının sıfır olmaktadır. Ortalanmış VZF'lerin karşılıkları (60) numaralı eşitlik kullanarak yazıldığında (62) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{12} + \tilde{\Delta}_{23} - \tilde{\Delta}_{13} &= \hat{\Delta}_{12} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \\ &\quad + \hat{\Delta}_{23} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \\ &\quad - \hat{\Delta}_{13} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \end{aligned} \quad (62)$$

(62) numaralı ifadenin sol tarafını (52)'de verilen kuralla göre yeniden düzenlenerek (63) oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{12} + \tilde{\Delta}_{23} + \tilde{\Delta}_{31} &= \hat{\Delta}_{12} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \\ &\quad + \hat{\Delta}_{23} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \\ &\quad - \hat{\Delta}_{13} - \frac{1}{3}(\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{23}) \end{aligned} \quad (63)$$

(63) numaralı eşitliğin sol tarafı (53)'de verilen kuralla sadeleştirilir ve sağ taraftaki parantezlerin içleri toplanır. Daha sonra eşitliğin sol tarafına (51)'deki kuralı uygulanılarak işlem tamamlanmaktadır.

$$\tilde{\Delta}_{11} = \hat{\Delta}_{12} + \hat{\Delta}_{23} - \hat{\Delta}_{13} + \hat{\Delta}_{12} + \hat{\Delta}_{13} - \hat{\Delta}_{23} \rightarrow 0 = 0 \quad (64)$$

(64) numaralı eşitlikte görüldüğü gibi ortalama işleminden sonra kapalı bir çevrim oluşturan kestirilmiş zaman farklarının toplamı sıfır çıkmaktadır. VZFO yöntemi alıcı sayısından bağımsızdır. Örneğin algoritmayı dört alıcılı bir konumlandırma sistemine uyguladığımızda, ortalanan zaman farkları (65)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta}_{12} \\ \tilde{\Delta}_{13} \\ \tilde{\Delta}_{14} \\ \tilde{\Delta}_{23} \\ \tilde{\Delta}_{24} \\ \tilde{\Delta}_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\Delta}_{12} \\ \hat{\Delta}_{13} \\ \hat{\Delta}_{14} \\ \hat{\Delta}_{23} \\ \hat{\Delta}_{24} \\ \hat{\Delta}_{34} \end{bmatrix} - \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 2 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\Delta}_{12} \\ \hat{\Delta}_{13} \\ \hat{\Delta}_{14} \\ \hat{\Delta}_{23} \\ \hat{\Delta}_{24} \\ \hat{\Delta}_{34} \end{bmatrix} \quad (65)$$

1.8. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Sürü tabanlı optimizasyon yöntemleri grup halinde yaşayan balık, kuş, karınca, termit ve arı gibi canlıların davranışları incelenerek geliştirilmiştir. Kendiliğinden organize olmaları ve dağıtılmış kontrol mekanizmaları bu tip canlıların en dikkat çekici özellikleridir [79]. Sürüyü oluşturan bireyler yaşamlarını sürdürüebilmek için ortak faaliyetler geliştirmişlerdir [80, 81]. Bu kısımda öncelikle sürü tabanlı tekniklerden kısaca bahsedilecek ve ardından parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması detaylı olarak sunulacaktır.

Karıncaların besin aramadaki ana hedefi, yiyecek kaynağı ile yuva arasındaki en kısa rotanın bulunmasıdır [79]. Karıncalar yiyecek bulduklarında kaynaktan yuvalarına kadar olan yol üzerine, feromon adı verilen kimyasal izler bırakmaktadır. Diğer karıncalar bu yolu takip ederek, besin kaynağına ulaşmakta ve böylece güzergâh üzerindeki feromon miktarı artmaktadır. Feromon uçucu bir madde olup zamanla takip edilmeyen yollardan tamamen buharlaşarak, bu rotaların silinmesini sağlamaktadır. Açıklanan döngünün tekrarıyla yuva ile besin kaynağı arasındaki en kısa yol tespit edilerek, yiyecek arama işlemi optimize edilmektedir. Karıncaların besin arama davranışı incelenerek, karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) 2004 yılında, Dorigo ve Stützle tarafından önerilmiş [82] ve 2006'da, geniş ölçekli problemlerin çözümünde başarıyla kullanılmıştır [83].

Bal arıları besin toplamak ve elde ettikleri nektar miktarını arttırmak amacıyla arama bölgesini hassas bir şekilde sınırlandırmalarını sağlayan dağıtılmış kontrol mekanizmalarına sahiptirler [84]. Arılar yiyeceğin miktarını ve yönünü belirlemenin yanında yuvaya olan uzaklığını da gidiş-dönüş esnasında harcadıkları enerjiye göre tespit edebilmektedirler [79]. Bu bilgiler, daire dansı ve antenler vasıtasıyla, kovadaki diğer arılara aktarılarak, daha az enerji ile daha fazla besine ulaşılmaktadır. Arıların nektar arama davranışları incelenerek, geliştirilen başlıca algoritmalar şunlardır:

- Arı sistemi optimizasyonu [85]
- Bal arısı algoritması [86]
- Arı kovani optimizasyonu [87]
- Yapay arı algoritması [88]
- Arı kolonisi optimizasyonu [89]
- Arı sürüsü optimizasyonu [90]
- Yapay arı kolonisi algoritması [91]
- Arı algoritması [92]
- Bal arısı yiyecek arama optimizasyonu [93]

Arı kolonisi tabanlı algoritmalar yapay sinir ağlarının eğitiminde [94], çalışma saatlerinin optimizasyonunda [95], veri kümelemede [96], bükülme açısı modellemede [97], bulanık mantık denetleyici parametrelerinin bulunmasında [98], noktadan noktaya veri transferinde [99] ve girişim bastırmada [100] kullanılmaktadır.

Koli basili vücudunun etrafını saran kamçıları saat yönünün tersine doğru iterek ilerlemektedir. Kamçıları saat yönünde hareket ettirdiğinde ise dönmektedir [101]. Bu davranış bilinen kaynağın kullanımı ve daha değerli kaynakların aranması olarak düşünüldüğünde bir optimizasyon işlemidir [79]. Günümüzde Passino tarafından 2002'de önerilen bakteriyel besin arama algoritması (BBAA) oransal integral türev denetleyici en iyileştirmede [102, 103], güç sistemlerindeki harmoniklerin kestiriminde [104], güç iletim kaybı optimizasyonunda [105], makine öğrenmesinde [106], borsa endekslerinin tahmininde [107], doğrusal olmayan dinamik sistemlerin tanımlanmasında [108] ve bulanık denetleyicilerin optimizasyonunda [109] kullanılmaktadır.

Ateş böceği acıktığında veya arkadaş aradığında yaydığı ışığın şiddetini ve yanıp sönme sıklığını arttırarak, avını veya hemcinslerinin kendine doğru çekmektedir [79]. Böceğin yaydığı ışık ürettiği lüsiferin maddesinin havadaki oksijenle yanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Lüsiferin miktarındaki artma ve azalma ışık şiddetini belirlemektedir. Parıltı kurdu sürüsü optimizasyonu (PKSO) [110] ve ateş böceği algoritması (ABA) [111] bu davranıştan esinlenilerek geliştirilmiş ve sürü tabanlı benzer yöntemlerle kıyaslanmıştır [112, 113, 114].

Hamam böcekleri birbirleriyle haberleşmek, kümelenmek ve çiftleşmek için kimyasal izler kullanmaktadırlar [79]. Diğer hamam böcekleri bu işaretler yardımıyla besin kaynaklarına

ve saklanacak güvenli yerlere kolaylıkla ulaşmaktadır [115]. 2008 yılında, hamam böceklerinin bu işbirliğinden yararlanılarak, kara böcek istilası optimizasyonunu (KBİO) geliştirilmiş ve algoritma örüntü tanımada kullanılmıştır [116].

Dişi sivrisinek yumurtalarını olgunlaştırmak için insan veya hayvan kanına ihtiyaç duymaktadır. Sivrisinek ortamdaki karbondioksit yoğunluğunu ölçerek, hedefini bulmakta ve hedef üzerindeki kan alacağı noktayı deri sıcaklığı ve nemine göre belirlemektedir [117]. 2009 yılında Feng ve diğerleri sivrisineklerin kan bulma tekniklerinden yola çıkarak, sivrisinek konuk arama algoritmasını (SKAA) geliştirmiştir.

Yunus balığı, fare, yarasa ve balina gibi hayvanlar yön güdüm, haberleşme ve yiyecek aramak için sahip oldukları biyolojik sonarları kullanmaktadır [79]. Yarasalar çıkarttıkları yüksek frekanslı ve kısa süreli seslerin ortamdaki yansımaları ile avlarının veya yuvalarının konumlarını tespit etmekte ve hedefin büyüklüğünü, şeklini, yönünü, uzaklığını ve hareketini de kestirebilmektedirler. Bu işlem esnasında yaydıkları sesin frekansı, darbe sıklığı ve genliği dinamik olarak değişmektedir [118]. Yang 2010 yılında, yarasaların bu yeteneklerinden yararlanarak, yarasa algoritmasını (YA) geliştirmiş ve yöntemi genetik algoritmalar (GA) ve PSO ile kıyaslamıştır [119].

PSO arama uzayında parçacıkları hız ve konum fonksiyonları ile hareket ettiren sürü zekâsı (SZ) tabanlı yinelemeli bir algoritmadır [120, 121]. Parçacıkların anlık koordinatları için arama fonksiyonu kullanılarak, uygunluk değerleri hesaplanır. Ardından her bir parçacığın arama uzayındaki hareketi mevcut konumu o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini veren koordinatları sürünün en iyi uygunluk değerini veren konum bilgisi ve bazı rastgele değişkenlerin birleşimiyle belirlenir. Sonraki yineleme tüm parçacıkların konumları güncellendikten sonra başlar ve durma koşulu sağlanana kadar bu işlem tekrarlanır.

PSO genetik algoritmalar veya karınca kolonisi optimizasyonu gibi sezgisel yöntemlerle kıyaslandığında nispeten yenidir. Yöntem kodlama ve kod çözümünün kolaylığı, küresel optimuma hızla yakınsaması esnekliği ve basitliği nedeniyle küresel optimizasyon [122], yapay sinir ağı eğitimi [123], bulanık sistem kontrolü [124], lojistik ve stok zinciri yönetimi [125] gibi birçok alana uygulanmıştır. Algoritmanın en büyük eksisi özellikle çok modlu fonksiyonlarda bölgesel minimuma yakınsamasıdır [126, 127]. Literatürde bu problemini ortadan kaldırmaya yönelik birçok yöntem önerilmiştir [128, 129].

1.8.1. Geleneksel Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO popülasyon tabanlı bir algoritma olup yöntemde bireyler parçacık ve popülasyon da sürü olarak adlandırılmaktadır. Sürü (66) ve (67) numaralı eşitliklerde görüldüğü gibi D boyutlu N_p adet parçacıktan oluşmaktadır. Parçacık boyutu çözülmek istenen probleme bağlı olup her parçacık D boyutlu arama uzayında bir noktayı temsil etmektedir.

$$\mathbf{S} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{N_p}\} \quad (66)$$

$$\mathbf{x}_p = [x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (67)$$

Burada, p parçacık indisini, i boyut indisini, N_p parçacık sayısını, D parçacık boyutunu, S parçacık sürüsünü, \mathbf{x}_p p . parçacığın konum vektörünü, x_{pi} p . parçacığın i . boyuttaki koordinatını ve $(.)^T$ devrik işlemini göstermektedir. Parçacık sayısı çözülmek istenen probleme göre kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu sayının küçük seçilmesi küresel çözümün kaçırılmasına ve büyük seçilmesi de aşırı işlem yüküne yol açmaktadır. Parçacıklar arama uzayında (68)'de verilen hız bileşenleri ile hareket etmektedir.

$$\mathbf{v}_p = [v_{p1}, v_{p2}, \dots, v_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (68)$$

Burada, \mathbf{v}_p p . parçacığın hız vektörünü ve v_{pi} p . parçacığın i . boyuttaki hızını göstermektedir. Hız aynı zamanda parçacıkların arama uzayındaki herhangi bir bölgeyi yinelemeli olarak ziyaret etmesini sağlamaktadır [130].

PSO parçacıkların bölgesel en iyi ve küresel en iyi bilgilerini kullanarak, küresel çözüme yakınsamaları ilkesi üzerine kurulmuştur. Parçacık hızları bireylerin ve sürünün o ana kadar arama uzayından topladığı bilgiler kullanılarak güncellenmektedir. Her parçacık kendisinin ve sürünün en iyi uygunluk değerini veren koordinatları hafızasında tutmaktadır. (69) ve (70)'de sürüdeki her parçacığın en iyi uygunluk değerini veren koordinatlarından oluşan hafıza dizisi görülmektedir.

$$\mathbf{P} = \{\mathbf{pbest}_1, \mathbf{pbest}_2, \dots, \mathbf{pbest}_{N_p}\} \quad (69)$$

$$\mathbf{pbest}_p = [x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (70)$$

Burada \mathbf{pbest}_p p . parçacığın en iyi uygunluk değerini elde ettiği konum vektörünü ve \mathbf{P} bu vektörlerden oluşan diziyi göstermektedir. \mathbf{P} dizisindeki en iyi uygunluk değerini veren konum vektörü, problemin çözümü olup \mathbf{gbest} olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 14'de akış şeması verilen geleneksel PSO 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından ilk önerildiğinde (71) ve (72)'deki gibi tanımlanmıştır [120].

$$\mathbf{v}_p^{k+1} = \mathbf{v}_p^k + \varphi_1 \text{rand}_1(\mathbf{pbest}_p^k - \mathbf{x}_p^k) + \varphi_2 \text{rand}_2(\mathbf{gbest}^k - \mathbf{x}_p^k) \quad (71)$$

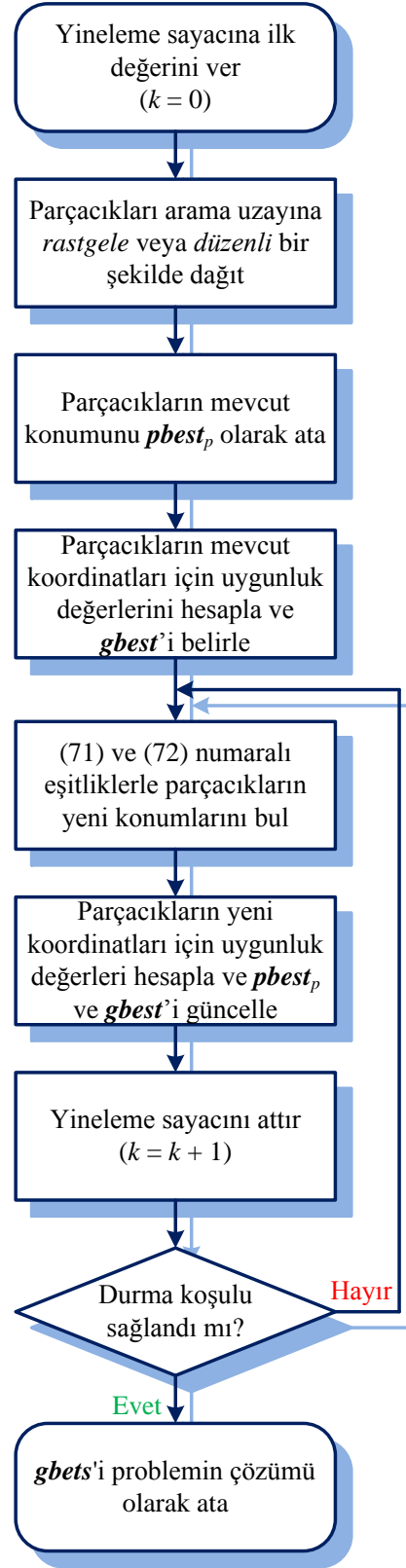
$$\mathbf{x}_p^{k+1} = \mathbf{x}_p^k + \mathbf{v}_p^{k+1} \quad (72)$$

Burada, k yineleme indisini, rand_1 ve rand_2 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı rastgele değişkenleri, φ_1 ve φ_2 ağırlıklandırma faktörlerini göstermektedir. φ_1 ve φ_2 aynı zamanda bilişsel ve sosyal parametreler olarak da isimlendirilmekte olup [120]'de ivmelendirme sabitleri olarak adlandırılmıştır.

Geleneksel PSO'da parçacıkların arama bölgesinin dışına çıkma ihtimalini ortadan kaldırmak için parçacık hızları $[-v_{max}, +v_{max}]$ aralığında tutulmuş ve bu işlem hız kısıtlama olarak adlandırılmıştır [120]. Ancak önerilen yöntemde algoritmanın başarımını ciddi şekilde etkileyen v_{max} sınırının nasıl belirleneceği net olarak ortaya konulmamıştır [130]. v_{max} değerinin çözülmek istenen probleme göre arama ve sömürme arasında bir denge kuracak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. [126]'da, bu sınıra olan ihtiyacı ortadan kaldırmak için (71)'de verilen hız güncelleme ifadesine kısıtlama faktörü eklenmiştir.

$$\mathbf{v}_p^{k+1} = \chi \{ \mathbf{v}_p^k + \varphi_1 \text{rand}_1(\mathbf{pbest}_p^k - \mathbf{x}_p^k) + \varphi_2 \text{rand}_2(\mathbf{gbest}^k - \mathbf{x}_p^k) \} \quad (73)$$

$$\chi = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}, \quad \varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad \varphi > 4 \quad (74)$$



Şekil 14. Parçacık sürüsü optimizasyonunun akış şeması

(73) ve (74) numaralı ifadelerde χ kısıtlama faktörünü ve φ ivmelenme sabitlerinin toplamını göstermektedir. Hâlihazırda $\chi = 0.7298$ ve $\varphi_1 = \varphi_2 = 2.05$ sınırlama ve ağırlıklandırma faktörleri için varsayılan değerler olarak kabul edilmekte olup bu yaklaşım standart parçacık sürüsü optimizasyonu (SPSO) olarak adlandırılmıştır [130]. Diğer bir geleneksel PSO algoritması Parsopoulos ve Vrhatis tarafından önerilen birleşik parçacık sürüsü optimizasyonudur (BPSO) [131]. Bu yöntem sosyal ve bilişsel bileşenler arasındaki denge üzerine kurulmuştur.

1998 yılından Shi ve Eberhart, (71)'de tanımlanan hız güncelleme ifadesine (75)'de görüldüğü gibi atalet ağırlık değişkenini eklemiştir [132]. Bu değişken geleneksel yöntemin başarımında belirgin bir artış sağlanmış ve teknik klasik parçacık sürüsü optimizasyonu (KPSO) olarak isimlendirilmiştir. [132]'de en iyi başarımın elde edilmesi için atalet ağırlığının (ω), 0.9'dan başlayarak, kademeli olarak 0.4'e kadar çekilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

$$\mathbf{v}_p^{k+1} = \omega \{ \mathbf{v}_p^k + \varphi_1 \text{rand}_1(\mathbf{pbest}_p^k - \mathbf{x}_p^k) + \varphi_2 \text{rand}_2(\mathbf{gbest}^k - \mathbf{x}_p^k) \} \quad (75)$$

1.8.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun Varyantları

PSO'nun başarımını arttırmaya yönelik önerilen yöntemler parametrik yaklaşımlar, sürü topolojisi iyileştirmeleri ve melez teknikler olmak üzere üç başlık altında toplanabilir [130].

İlk başlık olan parametrik yaklaşımlar da kendi içerisinde üçe ayrılmaktadır. Birinci kısım arama esnasında atalet ağırlığı ve/veya diğer parametrelere, sabit veya rastgele değerler verilerek, küresel çözümün bulunduğu stratejilerden oluşmaktadır [133]. İkinci grupta, atalet ağırlığı ve/veya diğer parametreler zamanın veya yineleme sayısının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır [134, 135]. Son kısımda ise sistemin durumunu anlık olarak izlemek için geri besleme parametreleri kullanılmaktadır [136, 137].

İkinci başlıkta yer alan tekniklerde sürü topolojisi optimize edilmektedir. Bu yöntemlerde her bir parçacığın yörüngesi diğer parçacıklarla koordineli olarak değiştirilmektedir. Gang ve diğerleri PSO algoritmasının erken yakınsamasını engellemek amacıyla sürüyü alt öbekler ayırmış ve bu öbekler arasında göçe imkan vererek, popülasyon çeşitliliğini arttırmıştır [138]. [131]'da sunulan BPSO yöntemi ve [139, 140]'da önerilen algoritmalar bu grup içerisinde değerlendirilmektedir.

Son başlıkta PSO algoritması diğer optimizasyon teknikleriyle birlikte kullanılarak, melez yöntemler geliştirilmiştir. [141, 142]'de PSO karınca kolonisi optimizasyonu ve [143]'de de tavlama benzetimiyle (TB) birlikte kullanılarak, yöntemin arama başarımı arttırılmıştır.

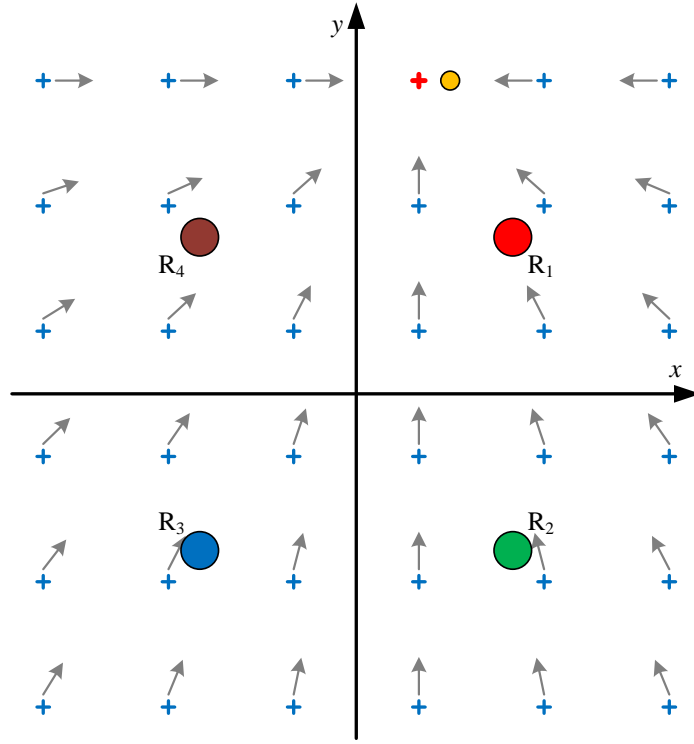
1.8.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Verici Konumu Tespiti

PSO algoritmasının bölgesel minimumlara takılma ihtimalinin düşük oluşu ve esnekliği, yöntemin konumlandırma uygulamalarında kullanımı cazip hale getirmiştir [14, 144]. PSO ile konum tespitinde, öncelikle uygunluk fonksiyonu tanımlanmalı ve ardından parçacıklar arama uzayına rasgele veya düzenli bir şekilde dağıtılmalıdır. Maksimum yineleme sayısına ulaşıldığında veya minimum hata değeri/değişimi sağlandığında **gbest** hedef koordinatlarını vermektedir. Küresel ve tam set için uygunluk fonksiyonları (76) ve (77) numaralı eşitliklerdeki gibi tanımlanmaktadır.

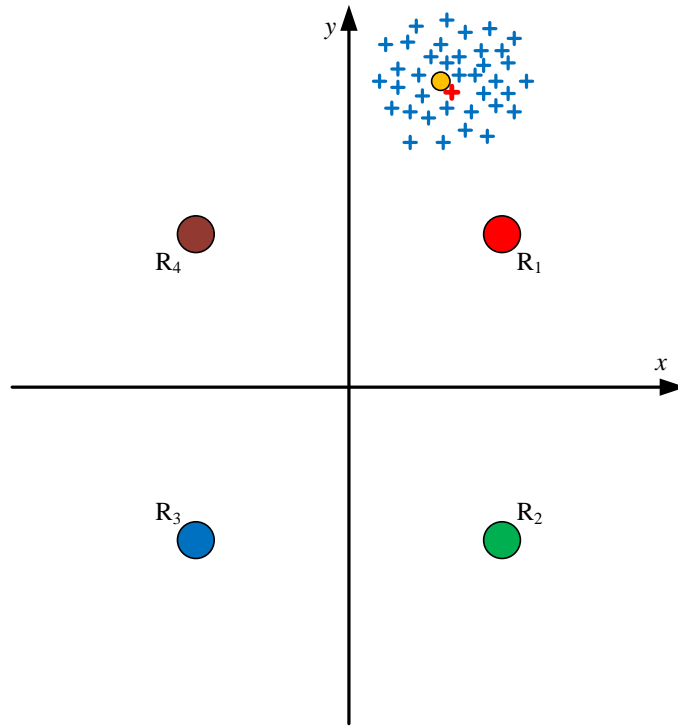
$$f_B(\mathbf{x}_p) = \sum_{j=2}^N (\widehat{\Delta}_{1j} - \Delta_{1jp})^2 \quad (76)$$

$$f_T(\mathbf{x}_p) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (\widehat{\Delta}_{ij} - \Delta_{ijp})^2 \quad (77)$$

Burada, $f_B(\mathbf{x}_p)$ bağımsız ve $f_T(\mathbf{x}_p)$ 'de tam set için uygunluk fonksiyonunu göstermektedir. Şekil 15'de dört alıcı bir konumlandırma sistemiyle iki boyutlu düzlemde PSO algoritmasıyla konum tespiti görülmektedir. Mavi renkli artılarla temsil edilen 36 parçacık arama bölgesine eşit aralıklarla dağıtılmış ardından her parçacığın koordinatları için uygunluk fonksiyonları hesaplanmış ve en düşük hata değerini veren parçacığın (kırmızı renkli artı simgesi) konumu **gbest** olarak belirlenmiştir. (72)'deki konum güncelleme ifadesi parçacıkların **gbest** değerini tutan parçacığa yönelmesini ve arama bölgesinin daraltılmasıyla daha hassas ve daha sağlıklı konum tespiti yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 15. Parçacıkların arama bölgesine eşit aralıklarla dağıtılması



Şekil 16. Parçacıkların hedef etrafında kümelenmesi

Şekil 16’da yineleme sayısının artmasıyla beraber parçacıkların hedef etrafında kümелendiği görülmektedir. Durma koşulu sağlandığında hedefin kestirilen koordinatları *gbest* vektöründen elde edilmektedir. Literatürde PSO algoritmasının yakınsama hızını arttırmak ve bölgesel minimumlara takılma olasılığını azaltmak için iki düzineden fazla varyantı önerilmiş olup [145, 146, 147] bu doktora tezinde (71) ve (72) numaralı eşitliklerle ifade edilen en temel hali kullanılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Birbirlerinden uzamsal olarak ayrı yerleştirilmiş eş zamanlı alıcılar kullanılarak, elektromanyetik, akustik veya sismik bir kaynağın koordinatları tespit edilebilmektedir. Vericiden yayılan sinyalin alıcılara ulaşma zamanları arasındaki fark kullanılarak, hiperbolik konum hatları tanımlanmakta ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır. Bu tezde varış zamanları farkı (VZF) tabanlı ve yüksek doğruluklu yeni konumlandırma yöntemleri önerilmiş ve yapılan çalışmalar, beş başlık altında toplanmıştır. Bunlar:

Varış zamanları farkı ortalama (VZFO) tekniğine farklı bir bakış açısı: Bu kısımda VZFO tekniğinde kullanılan katsayı matrisi basit bir çizgeler arası dolaşım algoritması ile yeniden üretilmiştir. Ayrıca katsayı matrisinin sadece üçlü VZF grupları ile değil aynı zamanda dörtlü, beşli ve bunların karışımları ile de elde edilebileceği gösterilmiştir.

VZFO yöntemi destekli verici konumu tespiti: Bu bölümde VZFO tekniği destekli iki yeni algoritma sunulmuştur. İlk yöntemde ortalama tekniği parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile birlikte kullanılarak, konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmış ve tam VZF seti kullanıldığında bağımsız setle hesaplanan Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) eşliğinin geçilebileceği gösterilmiştir. İkinci algoritmada ortalama yöntemi DEKK ve ADEKK teknikleriyle beraber kullanılmış ve bağımsız set ile konum tespitinde teorik limit aşılmıştır.

PSO ile yayılma hızından bağımsız konumlandırma: Bu kısımda, yayılma hızından bağımsız konumlandırma yapan PSO tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen teknikte, zaman farkları birbirlerine bölünerek, yayılma hızı sadeleştirilmiş ve VZF oranları elde edilmiştir. Ardından bu oranlar kullanılarak, verici koordinatları PSO ile bulunmuştur.

Alıcı dizilerinin dinamik olarak yönlendirilmesi: Bu bölümde konumlandırma doğruluğunu daha da artırmak amacıyla optimum alıcı dizileri hedefin koordinatlarına bağlı olarak dinamik olarak yönlendirilmiş ve ciddi bir başarı artışı sağlanmıştır.

Deneysel çalışmalar: Bu kısımda üç farklı alıcı geometrisi ve altı hedef noktası için akustik bir kaynağın konumu tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2.2. Varies Zamanları Farkı Ortalama Yöntemine Farklı Bir Yaklaşım

Varies zamanları farkı ortalama (VZFO) yöntemi 1972’de Schmidt tarafından üç alıcı için önerilmiş [11] ve 1996’da yine Schmidt tarafından geliştirilmiştir [12]. Teknik VZF kestirim hatası olmadığı durumda “kapalı bir çevrim oluşturan üç zaman farkının toplamı sıfırdır” ilkesi üzerine kurulmuştur. Tam VZF seti kullanan bu yöntem uygulandıktan sonra kestirim hatası azalmakta ve buna bağlı olarak da konumlandırma doğruluğu artmaktadır. Literatürdeki zaman farkı tabanlı yöntemlerin büyük çoğunluğunda bağımsız/küresel set kullanması nedeniyle Schmidt’in önerdiği bu teknik çok fazla uygulama alanı bulamamış ve pek az sayıda çalışmada ortalama yöntemi kullanılarak, başarımları artışı sağlamıştır.

2006’da Liu vd., durağan sinyal gücü farkı (DSGF) tabanlı yeni bir yöntem önermiştir [148]. VZF tabanlı konumlandırma algoritmaları ile büyük benzerlik gösteren bu teknikte alıcılarda oluşan sinyal gücü farkı ile mesafe farkları kestirilmekte ve bu uzaklık farkları kullanılarak konum hatları tanımlanmaktadır. Ardından VZF yönteminde olduğu gibi hedef, bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır. Liu tarafından önerilen bu algoritmanın doğruluğu zaman farkı tabanlı teknikler kadar yüksek olmamakla birlikte düşük donanım gereksinimi ve işlem yükü nedeniyle elektromanyetik konum tespit uygulamalarında kullanılmaktadır.

2006 yılında Liu ve Lin, VZFO yöntemi destekli ve DSGF tabanlı yeni bir algoritma önermiştir [149, 150, 151]. Önerilen teknikte mesafe farklarındaki kestirim hatası, ortalama yöntemiyle azaltılmakta ve hedef konumu daha yüksek bir doğrulukla tespit edilmektedir. Liu ve Lin, 2007 ve 2008’de, bu algoritmanın detaylı analizlerini yapmış ve tekniği geliştirmiştir [152, 153, 154, 155].

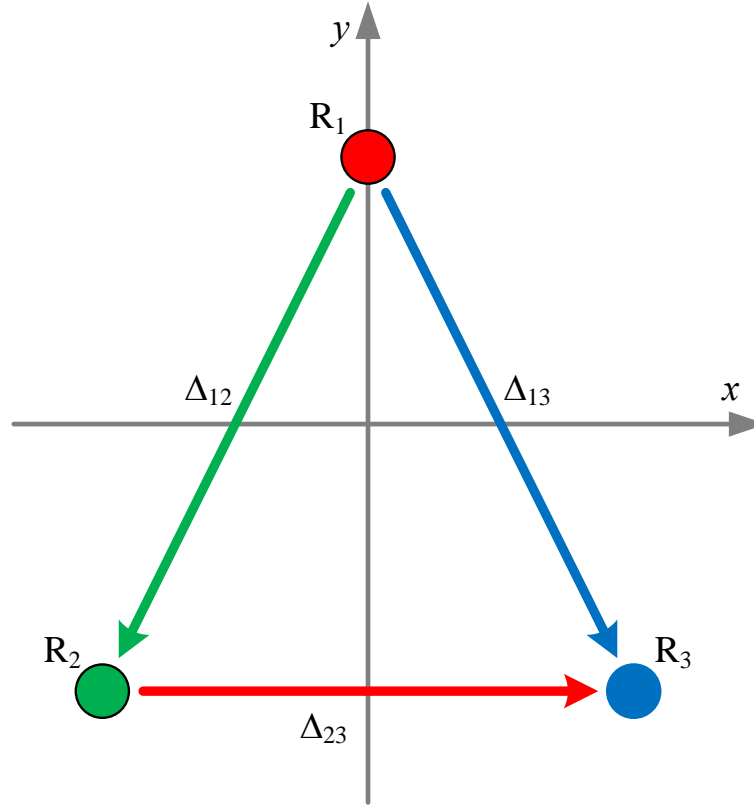
2008’de Korkmaz, zaman farkları ortalama tekniğine alıcı konumu bilgisini de ekleyerek yöntemi geliştirmiştir. Ayrıca, VZF özdeğişintisi bilindiği durumda yüksek doğruluklu en küçük kareler (EKK) tabanlı yeni bir algoritma sunmuştur [156].

Bu bölümde VZFO yönteminde kullanılan katsayı matrisinin basit bir çizgeler arası dolaşım algoritması ile yeniden üretiminden bahsedilecek ve ortalama yönteminin zaman farkı kestirim hatası üzerindeki olumlu etkisi gösterilecektir.

2.2.1. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemine Yeni Bir Bakış Açısı

Bu kısımda VZFO yönteminde kullanılan katsayı matrisi basit bir çizgiler arası dolaşım algoritması ile yeniden elde edilmiştir. Ayrıca katsayı matrisinin yalnız üçlü gruplar dışında alıcı sayısına bağlı olarak diğer gruplar ve bunların karışımları/birleşimleri ile de oluşturulabileceği gösterilmiştir.

Şekil 17'de üç alıcılı bir konumlandırma sistemi görülmektedir. Yöntemi bu alıcı dizisi üzerinden açıklayalım. Katsayı matrisi oluşturulurken zaman farkları vektör ve alıcılar da düğüm olarak düşünülmektedir.



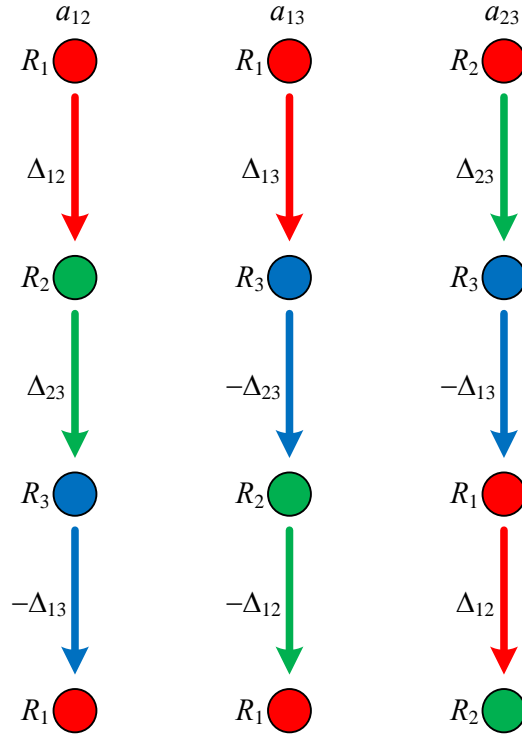
Şekil 17. Üç alıcılı konumlandırma sistemi ve VZF vektörleri

Katsayı matrisini elde etmek için Şekil 17'deki tüm kapalı çevrimler bulunmalı ve bu çevrimler kullanılarak, zaman farkı ağaçları oluşturulmalıdır. Her ağaç katsayı matrisindeki bir satıra karşılık gelmektedir. Üç alıcı için satırları s_{12} , s_{13} ve s_{23} olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde zaman farkı ağaçlarını da a_{12} , a_{13} ve a_{23} olarak isimlendirilmektedir. Ağaç

indisindeki ilk rakam birinci düğümü ve sonraki rakam da ikinci düğümü göstermektedir. İkinci düğümün ardından gelen diğer düğümler aşağıdaki kurallara göre belirlenmektedir:

- Her çevre en az üç düğümden oluşmalıdır.
- İlk düğüm hariç diğer düğümlerle, çevrede birden fazla tanımlanmamalıdır.
- Her çevre ilk düğüm ile sonlandırılmalıdır.
- Düğümler zaman farkı vektörleri ile birleştirilmelidir.

Yukarıda verilen kurallar uygulandığında Şekil 18'deki zaman farkı ağaçları elde edilmektedir. Katsayı matrisinin tüm elemanları (78)'deki gibi sıfırlandıktan sonra ağaç üzerinde ilk düğümden başlayıp son düğüme kadar ilerlenmektedir. Zaman farkı vektörünün işareti pozitif ise katsayı bir arttırılmakta değilse bir azaltılmaktadır. Bu şekilde matrisin satırları (79) – (81)'de görüldüğü gibi elde edilmektedir.



Şekil 18. Üç alıcılı konumlandırma sistemi için zaman farkı ağaçları

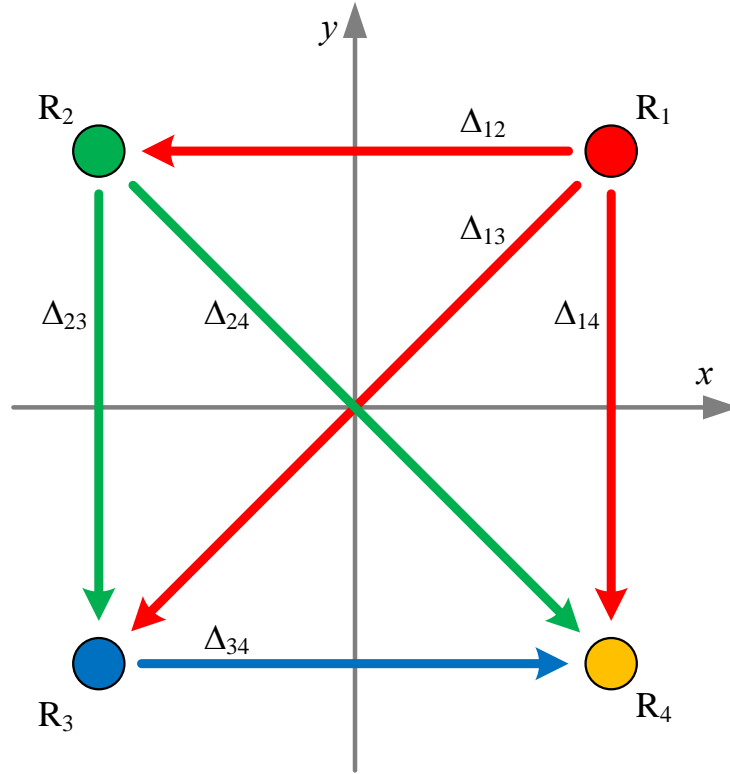
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (78)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (79)$$

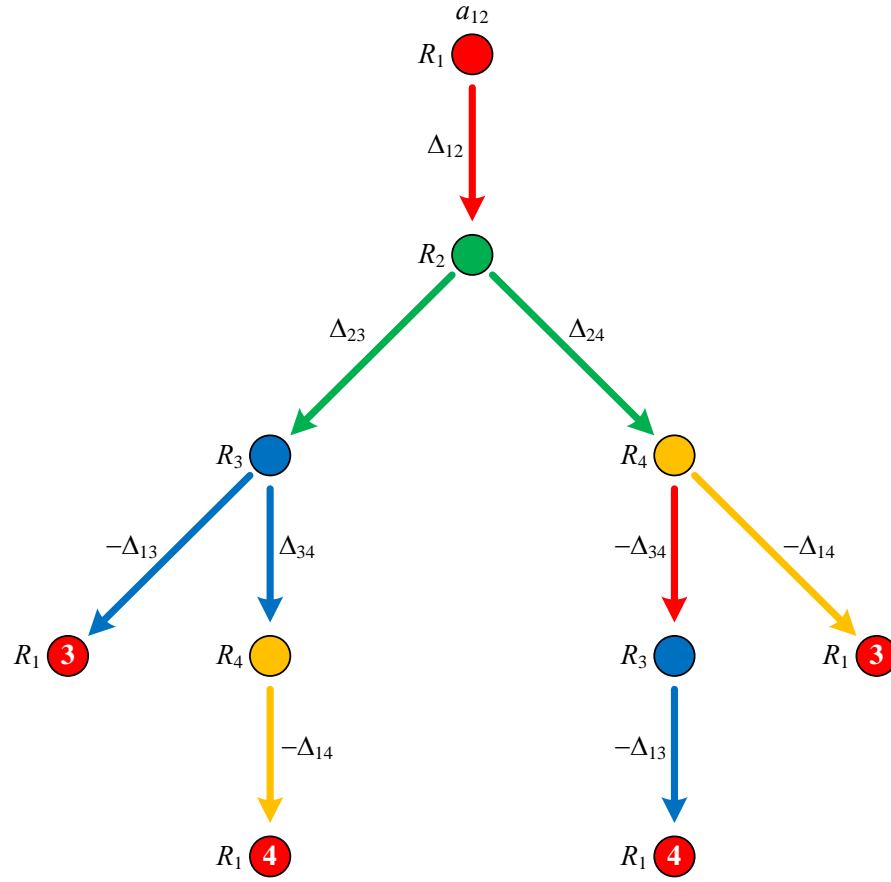
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (80)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (81)$$

(81)'de verilen katsayı matrisi (60)'daki matrisle aynı çıkmıştır. Önerilen yöntem alıcı sayısından bağımsız olup herhangi bir konumlandırma sistemi için uygulanabilmektedir. Şimdi yöntemi Şekil 19'da görülen dört alıcılı sisteme uygulayalım.



Şekil 19. Dört alıcılı konumlandırma sistemi ve zaman farkı vektörleri



Şekil 20. Dört alıcılı konumlandırma sistemi için a_{12} ağacı

Yukarıdaki kurallar alıcı dizisine uygulandığında a_{12} ağacı Şekil 20'deki gibi elde edilmektedir. Ağaç iki üçlü ve iki dördüli gruptan oluşmaktadır. Katsayı matrisinin s_{12} satırı yalnızca üçlü gruplardan türetildiğinde (82)'de verildiği gibi ve sadece dördüli gruplardan oluşturulduğunda ise (83)'deki gibi elde edilmektedir. Hem üçlü ve hem dördüli gruplar kullanıldığında ise (84)'deki gibi ifade edilmekte olup her durumda aynı katsayı değerleri bulunmaktadır. Dolayısıyla katsayı matrisi farklı eleman sayılı gruplar ve bunların karışımları/birleşimleri ile de oluşturulabilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (82)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (83)$$

$$A = \begin{bmatrix} 4 & -2 & -2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (84)$$

Aynı işlemler a_{13} , a_{14} , a_{23} , a_{24} ve a_{34} ağaçları için de uygulandığında katsayı matrisi (85)'deki gibi elde edilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 2 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (85)$$

Bir ağaç üzerindeki toplam kapalı çevre sayısı (86) ile bulunmaktadır. (87)'de dört, beş ve altı alıcılı diziler için çevre sayısı hesabı verilmiştir.

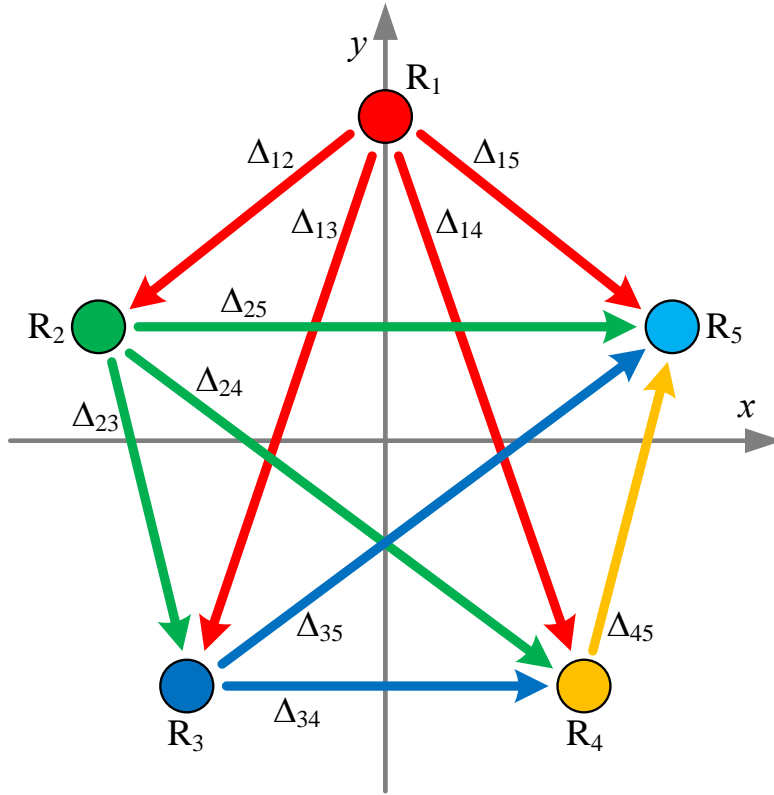
$$f_{\zeta S}(N) = (f_{\zeta S}(N-1) + 1)(N-2), \quad N > 3 \text{ ve } f_{\zeta S}(3) = 1 \quad (86)$$

$$N = 4 \rightarrow f_{\zeta S}(4) = (f_{\zeta S}(3) + 1)2 = 2 \times 2 = 4$$

$$N = 5 \rightarrow f_{\zeta S}(5) = (f_{\zeta S}(4) + 1)3 = 5 \times 3 = 15 \quad (87)$$

$$N = 6 \rightarrow f_{\zeta S}(6) = (f_{\zeta S}(5) + 1)4 = 16 \times 4 = 64$$

Son olarak önerilen yöntem Şekil 21'de görülen beş alıcılı konumlandırma sistemine uygulandığında katsayı matrisi üçlü, dördü, beşli ve bunların karışım/bileşim ile (88)'deki gibi elde edilmektedir.



Şekil 21. Beş alıcılı konumlandırma sistemi ve zaman farkı vektörleri

$$A = \begin{bmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 3 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 3 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 3 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 3 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 3 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 3 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 3 \end{bmatrix} \quad (88)$$

2.2.2. VZFO Yönteminin Zaman Farkı Kestirim Hatası Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Pratikte zaman farkları gürültü, girişim, çok yolluluk, yansıma, gölgeleme, alıcılar arası eş zamanlama hataları ve alıcı koordinatlarındaki belirsizlikler nedeniyle hatalı olarak kestirilmektedir. VZFO yöntemi ile kestirim hatası azaltılmakta ve konumlandırma doğruluğu

arttırılmaktadır. Bu kısımda VZFO ortalama tekniğinin zaman farkı gürültüsü üzerindeki etkisi alıcı sayısına göre incelenmiştir.

Gerçekleştirilen benzetimde hedef koordinatları $-100 \leq x \leq 100$ ve $-100 \leq y \leq 100$ düzlemi üzerinde beşer birim aralıklar değiştirilmiştir. Alıcı sayısı üçten yirmiyeye kadar birer birer arttırılıp 1681 test noktası için 250 bağımsız deneme yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. Benzetim sonuçlarının verici-alıcı geometrisinden bağımsız olması için alıcılar her denemede $-10 \leq x_i \leq 10$, $-10 \leq y_i \leq 10$ aralığında rastgele yerleştirilmiş ve işaret gürültü oranı (İGO) 10 dB olarak seçilmiştir. İstenilen İGO değerini elde etmek için her bağımsız denemede sinyal gücü hesaplanmıştır. Ardından bu İGO değerini sağlayacak değişintiye sahip sıfır ortalamalı Gaussian gürültü gerçek zaman farklarına eklenmiştir. Sinyal gücü gürültü gücü ve İGO (89) – (91) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i}^N \Delta_{ij}^2 \quad (89)$$

$$P_{n_d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i}^N n_{d_{ij}}^2 \quad (90)$$

$$IGO = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\Delta}}{P_{n_d}} \right) \quad (91)$$

Burada, P_{Δ} işaret gücünü, P_{n_d} gürültü gücünü, N alıcı sayısını, Δ gerçek zaman farkını, n_d VZF gürültüsünü ve i, j de alıcı indislerini göstermektedir.

Tablo 2’de ortalama işlemi uygulandıktan sonra zaman farkı gürültüsü değişintisinin azaldığı ve buna bağlı olarak da İGO’nun arttığı görülmektedir. Ayrıca alıcı sayısı arttıkça İGO azalan bir ivme ile yükselmektedir. VZF gürültüsündeki azalma konumlandırma doğruluğunun artmasını sağlamaktadır. Yöntemin zaman farkı gürültüsü üzerindeki bu olumlu etkisi yüksek doğruluklu yeni konumlandırma algoritmalarının geliştirilmesine imkân verecek niteliktedir.

Tablo 2. VZF kestirim hatasının alıcı sayısına göre değişimi

Alıcı Sayısı	VZFO İşleminden Önce		VZFO İşleminden Sonra	
	Değişinti	İGO (dB)	Değişinti	İGO (dB)
3	6.50	10.00	4.06	11.46
4	6.44	10.00	3.22	12.54
5	6.57	10.00	2.76	13.39
6	6.58	10.00	2.38	14.10
7	6.59	10.00	2.09	14.70
8	6.54	10.00	1.85	15.23
9	6.57	10.00	1.68	15.70
10	6.59	10.00	1.54	16.12
11	6.66	10.00	1.43	16.51
12	6.67	10.00	1.32	16.86
13	6.62	10.00	1.22	17.18
14	6.59	10.00	1.14	17.49
15	6.61	10.00	1.07	17.76
16	6.57	10.00	1.00	18.03
17	6.57	10.00	0.95	18.28
18	6.58	10.00	0.90	18.51
19	6.58	10.00	0.86	18.74
20	6.56	10.00	0.82	18.95

2.2.3. Sonuçlar

Bu bölümde VZFO yöntemine farklı bir bakış açısı getirilmiş ve katsayı matrisi basit bir çizgeler arası dolaşım algoritması ile yeniden üretilmiştir. Ayrıca katsayı matrisinin sadece üçlü VZF grupları ile değil aynı zamandan dördü, beşli, altılı ve bunların karışımları/bileşimleri ile de elde edilebileceği gösterilmiştir. Son olarak tekniğin zaman farkı gürültüsü üzerindeki azaltıcı etkisi alıcı sayısına bağlı olarak incelenmiştir.

2.3. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Konumlandırma

Varış zamanları farkı ortalama (VZFO) yöntemi kestirim hatası olmadığı durumda kapalı bir çevrim oluşturan üç zaman farkının toplamı sıfırdır ilkesi üzerine kurulmuştur [11, 12]. Tam VZF seti tabanlı bu teknik ile zaman farkı kestirim hatası azaltılmakta ve dolayısıyla konumlandırma doğruluğu arttırılmaktadır. Literatürdeki varış zamanları farkı (VZF) tabanlı algoritmaların büyük çoğunluğunda bağımsız/küresel set kullandığı için ortalama yöntemine pek az çalışmada atıf yapılmıştır [155, 156]. Bu bölümde VZFO tekniği destekli iki yeni algoritma sunulmuştur. İlk yöntemde ortalama tekniği parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile birlikte kullanılarak, konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmış ve tam zaman farkı seti kullanıldığında bağımsız setle hesaplanmış teorik limitin geçilebileceği gösterilmiştir [14, 15]. İkinci algoritmada ortalama yöntemi doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) teknikleriyle beraber kullanılmış ve bağımsız set ile konum tespitinde geleneksel CRAS aşılmıştır.

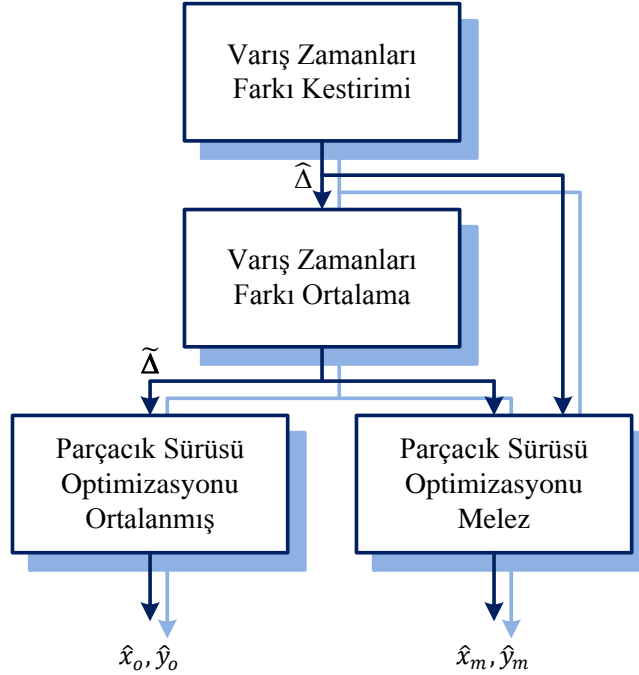
2.3.1. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Parçacık Sürüsü ile Verici Konumu Tespiti

PSO bölgesel minimumlara takılma olasılığının düşük oluşu, esnekliği, az değişken içermesi, hızlı yakınsaması, çok parametreliliğe uygulanabilmesi ve basitliği nedeniyle konumlandırma uygulamalarında kullanılmıştır [18, 144]. Bu kısımda PSO algoritması VZFO yöntemi ile birlikte kullanılarak, konumlandırma doğruluğunda belirgin bir artış sağlanmıştır [14, 15]. Ayrıca önerilen yöntem VZF tabanlı geleneksel algoritmalar ve teorik limit ile karşılaştırılmıştır. Son olarak rastgele ve dairesel dağılımlı alıcı dizileriyle konum tespiti yapılmış ve benzetim sonuçları sunulmuştur.

2.3.1.1. PSO Tabanlı ve VZFO Destekli Konumlandırma Algoritmaları

Literatürde VZFO yöntemi EKK tabanlı konumlandırma teknikleri ile birlikte kullanılmış olup [155, 156] PSO algoritması ile beraber kullanılmamıştır. Şekil 22’de, önerilen VZF

tabanlı iki yeni yöntemin blok şeması görülmektedir. İlk yöntem sadece ortalanan zaman farklarını kullanmakta olup parçacık sürüsü optimizasyonu ortalanan (PSOO) olarak adlandırılmıştır. İkinci teknik hem kestirilmiş ve hem de ortalanan zaman farklarını kullanmaktadır ve parçacık sürüsü optimizasyonu melez (PSOM) olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 22. VZFO destekli PSO ile verici konumu tespiti

Şekil 22’de kestirilen zaman farklarına VZFO işlemi uygulanarak, ortalanan VZF’lerin elde edilişi görülmektedir. Burada $\hat{\mathbf{x}}_o = [\hat{x}_o \ \hat{y}_o]^T$ hedefin PSOO algoritması ile kestirilen konumunu ve $\hat{\mathbf{x}}_m = [\hat{x}_m \ \hat{y}_m]^T$ kaynağın PSOM yöntemi ile bulunan koordinatlarını göstermektedir.

Tam zaman farkı setiyle konum tespiti yapan N alıcılı bir konumlandırma sisteminde M tane kestirilen ve M adet de ortalanan VZF bulunmaktadır. Geleneksel PSO ve önerilen PSOO algoritmaları eşit sayıda (M adet) zaman farkı ile konum tespiti yaptığı için işlem yükleri hemen hemen aynıdır. Buna karşın PSOM yönteminin hem kestirilen ve hem de ortalanan zaman farklarıyla ($2M$ tane) konumlandırma yapılması nedeniyle işlem yükü daha fazladır.

2.3.1.2. Benzetim Sonuçları

Bu kısımda önerilen PSOO ve PSOM yöntemleri PSO algoritmasıyla, geleneksel tekniklerle ve CRAS ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca rastgele dağılımlı ve dairesel yerleşimli alıcı dizileriyle konum tespiti yapılmış ve elde edilen ortalama karesel hata (OKH) değerleri teorik limitle kıyaslanmıştır.

2.3.1.2.1. Rastgele Dağılımlı Alıcı Dizisi ile Verici Konum Tespiti

Bu benzetimde alıcılar iki boyutlu düzlemde rastgele dağıtılmış ve benzetim parametreleri [74] ile aynı alınmıştır. Hedef konumu (8, 22), alıcı koordinatları $\{(0, 0); (-5, 8); (4, 6); (-2, 4); (7, 3); (-7, 5); (2, 5); (-4, 2); (3, 3); (1, 8)\}$ ve VZF kestirim hatasının değışintisi $0,001/c^2$ olarak seçilmiştir. OKH (92)'de verilen ifadeyle 100 bin bağımsız denemenin ortalaması alınarak bulunmuştur. CRAS hesabı (17) – (22) numaralı eşitliklerle yapılmıştır.

$$OKH = E\{(\hat{x} - x)^2 + (\hat{y} - y)^2\} \quad (92)$$

Burada, $E\{\cdot\}$ uzun dönem ortalama işlemini göstermektedir. Kestirilen VZF değerlerini elde etmek için gerçek zaman farklarına korele Gaussian gürültü eklenmiştir [74]. PSO algoritması için parçacık sayısı 36, en fazla yineleme sayısı 1000, öğrenme faktörleri $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ ve arama bölgesi $-150 \leq x \leq 150$, $-150 \leq y \leq 150$ olarak belirlenmiştir. Doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK) ve en çok olabilirlik (EÇO) yöntemleri için adım büyüklükleri sırasıyla 0.0001 ve $0.0009\sigma_d^2$ ve en büyük yineleme sayısı 250 seçilmiştir. DEKK algoritması ile kestirilen hedef koordinatları ($\hat{\mathbf{x}}$), DOEKK ve EÇO tekniklerinde başlangıç değeri ($\hat{\mathbf{x}}^k$) olarak kullanılmıştır. Ayrıca DEKK yöntemi ile elde edilen l_1 mesafesi ADEKK algoritmasındaki ağırlıklandırma matrisinin (\mathbf{W}) hesabında kullanılmıştır. Parçacıklar arama yüzeyine (93) ve (94) numaralı eşitliklerde tanımlandığı gibi eşit aralıklarla dağıtılmıştır. Aynı zaman farkı ölçümleri için algoritmalar paralel olarak koşturulmuş ve elde edilen karesel hata değerleri Tablo 3'de sunulmuştur.

$$x_p = 50(p\%6) - 125, \quad p = 0 \dots 35 \quad (93)$$

$$y_p = 50(p/6) - 125, \quad p = 0 \dots 35 \quad (94)$$

Burada, p parçacık indisini, (%) modüler bölme operatörünü ve (/) tamsayı bölme işlemini göstermektedir.

Tablo 3. Rastgele dağılımlı alıcı dizisi için elde edilen OKH değerleri

Alıcı Sayısı	Ortalama Karesel Hata							
	CRAS	PSO	PSOO	PSOM	DOEKK	EÇO	DEKK	ADEKK
4	0.688	0.705	0.657	0.610	1.574	1.639	1.566	1.566
5	0.145	0.113	0.103	0.099	0.161	0.169	0.160	0.159
6	0.133	0.115	0.085	0.092	0.152	0.154	0.152	0.137
7	0.114	0.071	0.049	0.050	0.125	0.124	0.126	0.114
8	0.105	0.057	0.047	0.045	0.122	0.121	0.122	0.109
9	0.103	0.050	0.046	0.044	0.119	0.118	0.120	0.106
10	0.094	0.056	0.052	0.051	0.119	0.107	0.121	0.096

Tablo 3’de PSO tabanlı algoritmaların (PSO, PSOO ve PSOM) geleneksel konumlandırma yöntemlerinden (DOEKK, EÇO, DEKK ve ADEKK) [27] ve teorik limitten [74] daha düşük karesel hataya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum CRAS hesabında ve geleneksel tekniklerle konum tespitinde bağımsız set kullanılırken PSO tabanlı yöntemlerde tam set kullanılmasından kaynaklanmaktadır. VZF sayısı arttıkça PSO tabanlı algoritmaların hedef hakkındaki bilgisi çoğalmakta ve dolayısıyla konumlandırma hatası azalmaktadır. Benzetim sonuçlarında, PSOO ve PSOM algoritmalarının geleneksel PSO’ya göre yaklaşık olarak sırasıyla %15 ve %17 daha düşük karesel hataya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca alıcı sayısındaki artış beklenildiği gibi karesel hatayı azaltmıştır.

2.3.1.2.2. Dairesel Yerleşimli Alıcı Dizisi ile Konum Tespiti

İkinci benzetimde alıcılar orijin merkezli bir çember üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Hedef konumu (61, -34), ilk alıcının koordinatları (10, 0) ve çember yarıçapı 10 olarak belirlenmiştir. Zaman farkı gürültü gücü $0.0001/c^2$ seçilmiş ve OKH değerleri 100 bin bağımsız denemenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Diğer parametreler birinci benzetimle aynı alınarak, elde edilen konumlandırma hataları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Dairesel yerleşimli alıcı dizisi için elde edilen OKH değerleri

Alıcı Sayısı	Ortalama Karesel Hata							
	CRAS	PSO	PSOO	PSOM	DOEKK	EÇO	DEKK	ADEKK
4	1.670	1.044	0.697	0.705	1.776	1.772	1.776	1.776
5	0.971	0.398	0.287	0.289	0.993	0.990	0.994	0.978
6	0.666	0.342	0.255	0.265	0.719	0.715	0.719	0.671
7	0.544	0.315	0.241	0.251	0.609	0.603	0.610	0.541
8	0.472	0.259	0.215	0.216	0.544	0.537	0.545	0.470
9	0.419	0.230	0.192	0.191	0.496	0.488	0.497	0.419
10	0.377	0.208	0.176	0.174	0.459	0.449	0.460	0.376

PSO tabanlı yöntemlerin başarımları bir önceki benzetimde de olduğu gibi geleneksel tekniklerden ve teorik limitten daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca PSOO ve PSOM yöntemleri geleneksel PSO'ya göre sırasıyla %23 ve %22 daha düşük karesel hataya sahiptir.

Tablo 5'de PSO tabanlı algoritmalar geleneksel konumlandırma yöntemleri ve teorik limit hesabında kullanılan zaman farkı sayıları verilmiştir. PSO tabanlı tekniklerde VZF sayısı arttıkça konumlandırma hatası azalmaktadır. Fakat buna bağlı olarak işlem yükü artmaktadır. Ayrıca PSO algoritmasında çok sayıda parçacık kullanılması ve yöntemin yinelemeli olması geleneksel tekniklere göre daha fazla işlem yüküne yol açmaktadır. Ancak konum tespitinde doğruluk ve güvenilirlik işlem yükünden daha önemli olduğu için bu eksiklik göz ardı edilebilir.

Tablo 5. PSO tabanlı algoritmalar geleneksel yöntemler ve CRAS hesabında kullanılan zaman farkı sayıları

Alıcı Sayısı	Ortalama Karesel Hata							
	CRAS	PSO	PSOO	PSOM	DOEKK	EÇO	DEKK	ADEKK
4	3	6	6	12	3	3	3	3
5	4	10	10	20	4	4	4	4
6	5	15	15	30	5	5	5	5
7	6	21	21	42	6	6	6	6
8	7	28	28	56	7	7	7	7
9	8	36	36	72	8	8	8	8
10	9	45	45	90	9	9	9	9

2.3.1.3. Sonuçlar

Bu kısımda VZFO tekniği ile PSO birlikte kullanılarak, konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmış ve konum tespitinde geleneksel PSO'ya alternatif olarak daha yüksek doğruluğa sahip iki yeni yöntem önerilmiştir. Önerilen ilk teknik yalnızca ortalanan zaman farklarını kullanmakta olup PSOO olarak adlandırılmıştır. İkinci algoritma ise hem kestirilmiş ve hem de ortalanan VZF'leri kullanmaktadır ve PSOM olarak isimlendirilmiştir. Sunulan yöntemler zaman farkı tabanlı geleneksel algoritmalar ve teorik limit ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen benzetimlerde önerilen yöntemlerin VZF tabanlı tekniklerden ve CRAS'den daha düşük karesel hataya sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca PSOO ve PSOM'nin başarımlarının PSO'ya göre yaklaşık olarak %20 daha yüksek çıkmıştır. Karmaşıklık açısından önerilen yöntemler PSO algoritması ile kıyaslandığında, PSOO hemen hemen aynı PSOM ise daha fazla işlem yüküne sahiptir. Son olarak tam zaman farkı seti kullanan PSO tabanlı tekniklerin geleneksel yöntemlerden ve bağımsız setle hesaplanan teorik limitten daha düşük hataya sahip olduğu benzetim sonuçları ile ortaya konulmuştur.

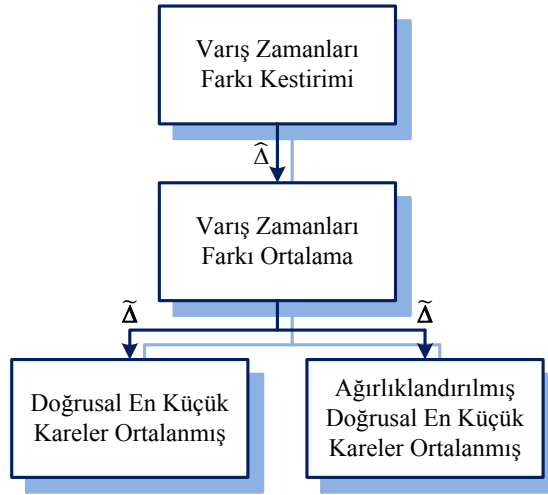
2.3.2. Varış Zamanları Farkı Ortalama Yöntemi Destekli Doğrusal Yöntemler ile Verici Konumu Tespiti

Zaman farkı ortalama yöntemi 1972 yılında Schmidt tarafından üç alıcı için önerilmiştir [11]. Schmidt bu çalışmasında konum hatlarının hiperbolik olmak zorunda olmadığını ve aynı zamanda, bir düzlem veya bir küre üzerinde de doğrusal konum hatlarının tanımlanabileceğini göstermiş ve bilgisayar destekli hata haritaları sunmuştur. 1996'da Schmidt, yöntemi genelleştirmiş ve iki adımlı en küçük kareler (EKK) tabanlı bir konumlandırma algoritması önermiştir [12]. Ayrıca sunmuş olduğu yöntemin konum hatası değişintisi üzerindeki azaltıcı etkisini benzetim sonuçları ile ortaya koymuştur. 2008'de Korkmaz, VZFO yöntemine alıcı koordinatlarını da eklemiş ve yöntemi EKK tabanlı bir konumlandırma algoritmasıyla birlikte kullanarak başarımlarını sağlamıştır [156]. Bu çalışmada ortalama tekniği ilk kez zaman farkı tabanlı doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) yöntemleri ile birlikte kullanılmış ve belirgin bir başarımların artışı sağlanmıştır. Ayrıca önerilen algoritmaların teorik limiti geçtiği benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

2.3.2.1. Varış Zamanları Farkı Ortalama Tekniği Destekli Doğrusal Konumlandırma Algoritmaları

Bu kısımda zaman farkı ortalama tekniği destekli iki yeni doğrusal konumlandırma yöntemi sunulmuştur. Önerilen tekniklerin blok şeması Şekil 23’de verilmiştir. Şekilde kestirilen VZF’lerden ortalanan zaman farklarının elde edilişi görülmektedir. Ortalanan zaman farkları geleneksel konumlandırma yöntemlerine uygulanarak, doğrusal en küçük kareler ortalananmış (DEKKO) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler ortalananmış (ADEKKO) olarak adlandırılan oldukça hızlı ve yüksek doğruluğa sahip iki yeni algoritma elde edilmiştir. Bu iki teknik ile konum tespiti doğrusal konumlandırma yöntemleri (DEKK ve ADEKK) ile aynı olup tek fark kestirilen zaman farkları yerine ortalananmış VZF’lerle hedef koordinatlarını tayin etmesidir.

Ortalanmış zaman farkları kullanılarak kaynak konumu DEKKO yönteminde (37) – (42) numaralı eşitliklerle ve ADEKKO tekniğinde ise (43) – (48) ile bulunmaktadır.



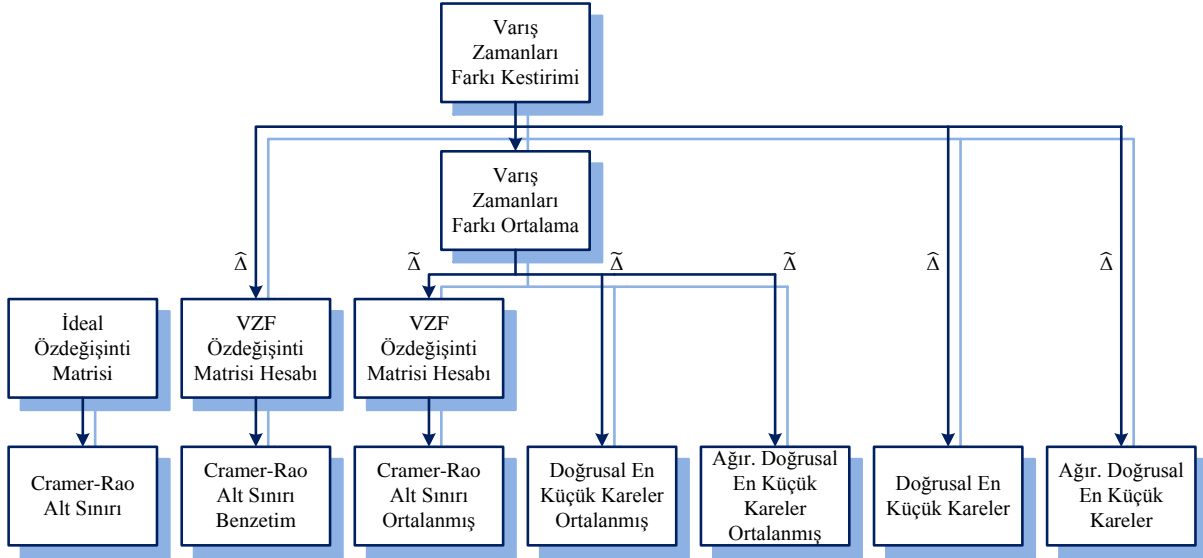
Şekil 23. VZFO destekli doğrusal konumlandırma yöntemleri

2.3.2.2. Benzetim Çalışmaları

Bu kısımda VZFO destekli iki yeni doğrusal konumlandırma yöntemi DEKK, ADEEK algoritmaları ve teorik limit ile karşılaştırılmış ve farklı verici-alıcı geometrileri için konum tespiti yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında kullanılan işlem şeması Şekil 24’de verilmiştir.

Şekilde CRAS, Cramer-Rao alt sınırı benzetim (CRASB) ve Cramer-Rao alt sınırı ortalanmış (CRASO) olmak üzere üç farklı teorik limit görülmektedir. Bunlardan ilki olan CRAS tüm alıcılarda doğrudan görüş olduğu durum için (21)'de tanımlanan ideal zaman farkı gürültüsü özdeğişinti matrisini kullanmaktadır. CRASB benzetim esnasında (21)'de verilen özdeğişinti matrisine göre üretilen korele VZF kestirim hatası ile hesaplanmakta olup, benzetim ortamındaki gürültü modelinin doğruluğunu göstermektedir. CRAS ve CRASB limitleri birbirine ne kadar yakın çıkarsa kullanılan gürültü modeli de o kadar doğrudur. Son limit olan CRASO benzetim esnasında ortalama işleminden sonra hesaplanan VZF gürültüsü özdeğişinti matrisi ile elde edilmektedir. Bu limit geleneksel CRAS'dan daha aşağıda çıkmakta ve önerilen yöntemler için bir alt eşik tanımlamaktadır.

DEKK ve ADEKK yöntemleri kestirilen zaman farkları ile konum tespiti yapmaktadır. Önerilen doğrusal en küçük kareler ortalanmış (DEKKO) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler ortalanmış (ADEKKO) algoritmaları ise ortalanmış VZF'leri kullanarak hedef konumu tayin etmektedir.



Şekil 24. VZFO destekli doğrusal konum tespiti benzetim şeması

Şekil 24'de verilen blok şeması üzerinden benzetim adımlarını kısaca açıklayalım.

- Kestirilen zaman farkları (21)'de verilen özdeğişinti matrisine sahip sıfır ortalamalı korele Gaussian gürültünün gerçek zaman farklarına eklenmesi ile elde edilir.

- Kestirilen zaman farklarına VZFO yöntemi uygulanarak, ortalananmış VZF'ler üretilir.
- CRAS ideal özdeğişinti matrisi için (17) – (22) ile hesaplanır.
- Kestirilen zaman farklarıyla öz değişinti matrisi bulunur ve (17) – (20), (22) numaralı eşitlikler kullanılarak, CRASB sınırı elde edilir.
- Ortalanmış zaman farkları ile öz değişinti matrisi hesabı yapılır ve (17) – (20), (22) numaralı ifadelerle CRASO eşiği bulunur.
- Kestirilen zaman farkları kullanılarak hedef konumu DEKK ve ADEKK yöntemleriyle tespit edilir ve bu teknikler için ortalama karesel hata hesaplanır.
- Ortalanmış zaman farkları ile verici konumu DEKKO ve ADEKKO algoritmalarıyla bulunur ve bu yöntemleri için OKH hesabı yapılır.

2.3.2.2.1. Yakın Hedef Durumu

Yakın hedef durumu için alıcılar rastgele dağıtılmış ve benzetim parametreleri [74] ile aynı alınmıştır. Kaynak, (8, 22) koordinatlarına yerleştirilmiş ve alıcı pozisyonları $\{(0, 0); (-5, 8); (4, 6); (-2, 4); (7, 3); (-7, 5); (2, 5); (-4, 2); (3, 3); (1, 8)\}$ olarak belirlenmiştir. Zaman farkı gürültüsü değişintisi $0.001/c^2$ seçilmiş ve 10 milyon bağımsız deneme sonucunda karesel hata (92) ile hesaplanarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Yakın hedef durumu için doğrusal yöntemler ile konum tespiti

Alıcı Sayısı	CRAS	CRASB	DEKK	ADEKK	DEKKO	ADEKKO	CRASO
4	0.6884	0.6885	1.5761	1.5761	1.5738	1.5738	0.3589
5	0.1451	0.1451	0.1599	0.1590	0.0768	0.0710	0.0561
6	0.1334	0.1334	0.1523	0.1380	0.1124	0.0628	0.0295
7	0.1143	0.1143	0.1266	0.1148	0.0573	0.0380	0.0179
8	0.1054	0.1054	0.1219	0.1083	0.0392	0.0264	0.0134
9	0.1032	0.1032	0.1200	0.1064	0.0308	0.0204	0.0106
10	0.0943	0.0944	0.1201	0.0953	0.0530	0.0292	0.0087

Tabloda CRAS ve CRASB eşikleri hemen hemen aynı çıkmıştır. Bu durum benzetim ortamında kullanılan gürültü modelinin teorik limit kıyaslaması için oldukça uygun olduğunu

göstermektedir. Geleneksel DEKK ve ADEKK yöntemleri CRAS sınırına ulaşamamıştır. ADEKK tekniği DEKK algoritmasından daha iyi başarıma sahip olup alıcı sayısı arttıkça teorik limite yaklaşmıştır. Önerilen VZFO destekli yöntemler ise dört alıcılı dizi için teorik sınırı aşamamış ancak diğer durumlar için CRAS eşiğinin ötesinde başarımlar göstermişlerdir. CRASO eşiği oldukça aşağıda çıkmış ve hiçbir yöntem bu sınıra ulaşamamıştır.

Bu benzetimde doğrusal yöntemler kullanıldığı için hedef koordinatlarının tespiti çok hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Şekil 24’de verilen şema doğrultusunda 10 milyon bağımsız deneme Windows 7 64 bit işletim sistemini kullanan Pentium 3.2 GHz çift-çekirdekli ve 4 GB belleğe sahip bir bilgisayarda 838 saniye sürmektedir. Başka bir ifade ile verici konumunu mikro saniyeler içerisinde bulunmaktadır.

Tablo 6’den çıkarılabilecek en önemli sonuç VZFO destekli doğrusal yöntemler ile bağımsız zaman farkı seti kullanılmasına rağmen teorik limitin geçilebileceğidir. VZFO yöntemiyle kestirilen zaman farklarındaki hata bastırıldığı için CRAS eşiği geçilebilmektedir. Ortalama yönteminin zaman farkı gürültüsü üzerindeki azaltıcı etkisi (95) – (109)’de verilen öz değişinti matrislerinde görülmektedir.

$$\mathbf{Q} = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 1.000 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (95)$$

$$\mathbf{Q}_B = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 1.000 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (96)$$

$$\mathbf{Q}_O = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.656 & 0.633 \\ 0.500 & 0.633 & 1.119 \end{bmatrix} \quad (97)$$

Burada, \mathbf{Q} ideal, \mathbf{Q}_B kestirilen zaman farkları ile hesaplanan ve \mathbf{Q}_O ortalanmış VZF’ler ile bulunan özdeğişinti matrislerini göstermektedir. (95)’de verilen ideal özdeğişinti matrisi ile (96)’daki kestirilen zaman farklarıyla hesaplanan özdeğişinti matrisleri aynı çıkmıştır. Bu eşitlik benzetimde kullanılan gürültü modelinin oldukça doğru olduğunu göstermektedir. (97) numaralı ifadede dört alıcı için değeri aynı kalan katsayılar siyah, azalanlar mavi ve artanlar

kırmızı ile gösterilmiştir. (97)'de üç katsayının arttığı ve bir katsayının azaldığı görülmektedir. Tablo 6'da dört alıcılı durumda için VZFO yönteminin başarımının ihmal edilecek düzeyde arttırdığı görülmektedir. Alıcı sayısı arttıkça ortalama yönteminin gürültü bastırma özelliği de artmaktadır. (98) – (99) numaralı eşitliklerde beş alıcılı dizi ile elde edilen özdeğişinti matrisleri verilmiştir.

$$\mathbf{Q}_B = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 1.001 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 0.500 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (98)$$

$$\mathbf{Q}_o = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 0.520 & 0.484 & 0.481 & 0.477 \\ 0.484 & 0.533 & 0.540 & 0.547 \\ 0.481 & 0.540 & 0.728 & 0.653 \\ 0.477 & 0.547 & 0.653 & 1.119 \end{bmatrix} \quad (99)$$

(98)'de kestirilen zaman farklarıyla hesaplanan özdeğişinti matrisinin hemen hemen ideal olduğu görülmektedir. Yalnızca bir katsayıda küçük bir farklılık bulunmaktadır. (99)'da verilen özdeğişinti matrisindeki dokuz katsayının azaldığı ve altı katsayının attığı görülmektedir. Genel olarak VZF gürültüsünde bir azalma söz konusudur. Bunun sonucu olarak Tablo 6'da da görüldüğü gibi önerilen iki yöntem teorik eşiği geçmiştir.

$$\mathbf{Q}_B = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 0.500 & 1.000 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (100)$$

$$\mathbf{Q}_o = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 0.556 & 0.481 & 0.478 & 0.475 & 0.470 \\ 0.481 & 0.506 & 0.507 & 0.509 & 0.510 \\ 0.478 & 0.507 & 0.578 & 0.563 & 0.573 \\ 0.475 & 0.509 & 0.563 & 0.778 & 0.657 \\ 0.470 & 0.510 & 0.573 & 0.657 & 1.113 \end{bmatrix} \quad (101)$$

Altı alıcılı dizi için kestirilen ve ortalanan zaman farkları ile hesaplanan özdeğişinti matrisleri (100) ve (101)'da verilmiştir. Benzer şekilde diğer alıcı sayıları için özdeğişinti matrisleri,

$$\mathbf{Q}_O = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 0.654 & 0.486 & 0.485 & 0.483 & 0.481 & 0.479 & 0.477 & 0.474 \\ 0.486 & 0.557 & 0.489 & 0.488 & 0.486 & 0.485 & 0.483 & 0.481 \\ 0.485 & 0.489 & 0.510 & 0.499 & 0.499 & 0.499 & 0.499 & 0.499 \\ 0.483 & 0.488 & 0.499 & 0.516 & 0.518 & 0.520 & 0.522 & 0.525 \\ 0.481 & 0.486 & 0.499 & 0.518 & 0.576 & 0.547 & 0.552 & 0.558 \\ 0.479 & 0.485 & 0.499 & 0.520 & 0.547 & 0.690 & 0.588 & 0.597 \\ 0.477 & 0.483 & 0.499 & 0.522 & 0.552 & 0.588 & 0.862 & 0.643 \\ 0.474 & 0.481 & 0.499 & 0.525 & 0.558 & 0.597 & 0.643 & 1.093 \end{bmatrix} \quad (107)$$

$$\mathbf{Q}_B = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1.001 & 0.500 & 0.500 & 0.501 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 0.501 & 0.500 \\ 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.501 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.501 & 0.500 & 0.501 & 0.500 & 0.500 \\ 0.501 & 0.500 & 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 0.501 & 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 0.500 \\ 0.501 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 1.000 & 0.501 & 0.500 & 0.500 \\ 0.501 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 0.501 & 0.501 & 1.000 & 0.501 & 0.501 \\ 0.501 & 0.501 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 0.500 & 0.501 & 1.501 & 0.501 \\ 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.501 & 0.501 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (108)$$

$$\mathbf{Q}_O = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 0.681 & 0.489 & 0.487 & 0.486 & 0.484 & 0.483 & 0.481 & 0.479 & 0.477 \\ 0.489 & 0.582 & 0.490 & 0.488 & 0.487 & 0.486 & 0.484 & 0.483 & 0.481 \\ 0.487 & 0.490 & 0.523 & 0.496 & 0.495 & 0.494 & 0.494 & 0.493 & 0.492 \\ 0.486 & 0.488 & 0.496 & 0.507 & 0.508 & 0.508 & 0.509 & 0.510 & 0.511 \\ 0.484 & 0.487 & 0.495 & 0.508 & 0.533 & 0.527 & 0.529 & 0.532 & 0.535 \\ 0.483 & 0.486 & 0.494 & 0.508 & 0.527 & 0.603 & 0.554 & 0.559 & 0.565 \\ 0.481 & 0.484 & 0.494 & 0.509 & 0.529 & 0.554 & 0.718 & 0.590 & 0.599 \\ 0.479 & 0.483 & 0.493 & 0.510 & 0.532 & 0.559 & 0.590 & 0.879 & 0.636 \\ 0.477 & 0.481 & 0.492 & 0.511 & 0.535 & 0.565 & 0.599 & 0.636 & 1.087 \end{bmatrix} \quad (109)$$

2.3.2.2.2. Uzak Hedef Durumu

Bu benzetimde (61, -34) noktasına yerleştirilen hedef, ilk alıcısı (10, 0) koordinatlarında olan 10 yarıçaplı ve orijin merkezli bir dairesel alıcı dizisi ile konumlandırılmıştır. Çember üzerindeki diğer alıcılar, eşit aralıklarla dizilmiş ve zaman farkı gürültü gücü $0.0001/c^2$ olarak belirlenerek, 10 milyon bağımsız deneme sonucunda elde edilen karesel hata değerleri Tablo 7'de sunulmuştur. Şekil 24'deki şemaya göre koşturulan benzetim yaklaşık 840 saniye sürmüştür.

Bir önceki benzetimde olduğu gibi CRAS ve CRASB sınırları hemen hemen aynı çıkmış olup bu sonuç kullanılan gürültü modelinin doğruluğunu göstermektedir. Geleneksel

konumlandırma teknikleri, CRAS sınırını geçememiştir. ADEKK yöntemi DEKK algoritmasından daha iyi sonuç vermiş ve alıcı sayısındaki artışla birlikte teorik sınıra yaklaşmıştır. Önerilen VZFO destekli yöntemler her durumda teorik sınırı aşmış ancak CRASO eşliğinin gerisinde kalmıştır. Zaman farkı gürültüsü özdeşleştirme matrisinin bilinmesi gerektiren ADEKKO yöntemi en yüksek başarıyı elde etmiştir. VZF gürültüsü hakkında herhangi bir bilgi gerektirmeyen DEKKO algoritması da her durumda teorik sınırı geçmiştir.

Tablo 7. Uzak hedef durumu için doğrusal yöntemler ile konum tespiti

Alıcı Sayısı	CRAS	CRASB	DEKK	ADEKK	DEKKO	ADEKKO	CRASO
4	1.6996	1.6991	1.7776	1.7776	0.7282	0.7282	0.6210
5	0.9710	0.9710	0.9945	0.9787	0.2180	0.1715	0.0833
6	0.6657	0.6658	0.7155	0.6672	0.2216	0.1780	0.1038
7	0.5438	0.5436	0.6121	0.5444	0.2101	0.1779	0.0676
8	0.4719	0.4717	0.5478	0.4723	0.2014	0.1671	0.0607
9	0.4191	0.4190	0.4997	0.4197	0.1940	0.1534	0.0541
10	0.3771	0.3774	0.4614	0.3781	0.1877	0.1405	0.0459

2.3.2.3. Sonuçlar

Bu kısımda zaman farkı ortalama yöntemi destekli DEKKO ve ADEKKO olarak adlandırılan iki yeni doğrusal konumlandırma algoritması sunulmuştur. Farklı verici-alıcı geometrileri ve gürültü seviyeleri için konum tespiti yapılmış ve önerilen yöntemler DEKK, ADEKK ve teorik eşik ile karşılaştırılmıştır.

Ortalama işleminden sonra alıcı sayısına bağlı olarak zaman farkı gürültüsünde belirgin bir azalma oluşmaktadır. Dolayısıyla önerilen VZFO destekli algoritmalar konum tespitinde bağımsız set kullanmalarına rağmen CRAS eşliğini geçmektedir. Bu sonuç sunulan çalışmanın en önemli çıktısıdır.

2.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Yayılma Hızından Bağımsız Kaynak Konumlandırma

Elektromanyetik, akustik veya sismik bir kaynak, uzamsal olarak ayrı yerleştirilmiş eş zamanlı alıcılarla konumlandırılabilir. Kaynaktan yayılan sinyal alıcılara farklı anlarda ulaştığı için zaman farkları oluşmakta ve bu varış zamanları farkları (VZF) kullanılarak, hedefin konumu iki boyutlu düzlemde en az üç ve üç boyutlu uzayda ise en az dört alıcı ile bulunmaktadır. Bu işlem sırasında öncelikle zaman farklarının yayılma hızı ile çarpılarak, mesafe farkları olarak konum bölgesine taşınması ve yayılım hızının biliniyor olması gerekmektedir. VZF tabanlı konumlandırma yöntemlerinin çoğunda yayılma hızının doğru olarak bilindiği kabul edilmektedir [157, 158, 159]. Ancak akustik, sualtı akustik ve sismik bir vericinin konumlandırılmasında yayılım hızı, ortamın yoğunluğuna ve elastikiyetine bağlı olarak değiştiği için bu kabul geçerli değildir. Örneğin, sesin havadaki yayılma hızı, sıcaklık, nem, basınç, irtifa ve atmosferik olaylarla (rüzgar, sis, yağmur, kar, vb.) ve sualtındaki hızı, derinlik, sıcaklık ve tuzlulukla değişmektedir. Sismik dalgaların yayılma hızı ise ortam çok değişken ve karışık olduğu için tam olarak bilinmemektedir. Zaman farkı tabanlı konumlandırma ile ilgili pek az çalışmada hedef konumu ve yayılma hızı birlikte bulunmuştur. [160]'de aşırı tanımlı sistemler için doğrusal olmayan eşitliklerin çözümleri doğrusal eşitliklere çevrilerek, verici konumu ve yayılma hızı birlikte kestirilmiştir. [161]'de kaynak konumunu ve hızını kestiren doğrusal bir yöntem önerilmiştir. [162]'de ağırlıklandırılmış en küçük kareler (AEKK) tabanlı bir teknik ile verici konumu ve yayılma hızı bulunmuştur. [163]'de hedef konumunu ve yayılma hızını tespit eden sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış en küçük kareler tabanlı iki algoritma sunulmuştur. [164]'de ise mevcut yöntemler karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde literatürde yer alan tekniklerden farklı olarak yayılma hızından bağımsız konum tespiti yapan parçacık sürüsü (PSO) tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir [16]. Önerilen teknikte zaman farkları birbirlerine bölünerek, yayılma hızı sadeleştirilmiş ve VZF oranları elde edilmiştir. Ardından bu oranlar kullanılarak, kaynak konumunu PSO ile yayılma hızından bağımsız olarak bulunmuştur. Önerilen yöntemin yayılma hızının doğru olarak bilindiği duruma yakın hatalı olarak bilindiği duruma göre ise oldukça düşük konumlandırma hatasına sahip olduğu benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

2.4.1. Varış Zamanları Farkı Oranları ile Verici Konumu Tespiti

VZF tabanlı konumlandırma teknikleri yayılma hızının biliniyor kabul edildiği ve kestirildiği yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu kısımda üçüncü bir grup olarak hızdan bağımsız bir kaynak konumlandırma tekniği sunulmuştur.

Zaman farklarıyla konum tespitinde küresel veya tam set kullanılmakta olup önerilen algoritmada, konumlandırma doğruluğunu arttırmak amacıyla tam set kullanılmıştır. Yayılma hızından bağımsız konum tespitinde zaman farkları birbirlerine bölünerek, (110) – (112)'de tanımlandığı gibi VZF oranları elde edilmektedir.

$$l_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (110)$$

$$\Delta_{ij} = (l_i - l_j)/c \quad \text{ve} \quad \Delta_{mn} = (l_m - l_n)/c \quad (111)$$

$$\rho_{ijmn} = \Delta_{ij}/\Delta_{mn} = (l_i - l_j)/(l_m - l_n) \quad (112)$$

Burada, l hedef ile alıcı arasındaki mesafeyi, Δ hatasız zaman farkını, ρ gerçek VZF oranını, (x, y) hedefin gerçek koordinatlarını ve i, j, m, n alıcı indislerini göstermektedir. Örnek olarak üç alıcılı bir konumlandırma sisteminde Δ_{12} , Δ_{13} ve Δ_{23} olmak üzere üç zaman farkı ve ρ_{1213} , ρ_{1223} ve ρ_{1323} olmak üzere üç VZF oranı oluşmaktadır. (112)'de zaman farkları birbirlerine bölünerek yayılma hızı sadeleştirilmiş ve hızla olan bağıllık ortadan kaldırılmıştır.

Kestirilen zaman farkı (49)'da kabul edilen yayılma hızı (113)'da ve kestirilmiş VZF oranı (114)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$c = c_0 + n_c \quad (113)$$

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_{ijmn} &= \hat{\Delta}_{ij}/\hat{\Delta}_{mn} = (\Delta_{ij} + n_{d_{ij}})/(\Delta_{mn} + n_{d_{mn}}) \\ &= (l_i - l_j + cn_{d_{ij}})/(l_m - l_n + cn_{d_{mn}}) \\ &= (l_i - l_j + n_{r_{ij}})/(l_m - l_n + n_{r_{mn}}) \end{aligned} \quad (114)$$

Burada, $\widehat{\Delta}$ kestirilen zaman farkını, n_d VZF gürültüsünü, c_0 gerçek yayılma hızını, n_c yayılma hızı kestirim hatasını, $\widehat{\rho}$ kestirilen zaman farkı oranını ve n_r mesafe farkı gürültüsünü göstermektedir. (114)'de mesafe farkı gürültüsünün, yayılma hızına bağlı olduğu ve mesafe farkları sıfıra yaklaştıkça ($l_i - l_j$ veya $l_m - l_n$), gürültünün baskın hale geldiği görülmektedir. Bu durum ciddi konumlandırma hatalarına yol açmakla beraber optimum alıcı dizilerinin kullanımıyla etkisi en aza indirilebilir.

Önerilen yöntemde kestirilen VZF oranlarını $-1 \leq \widehat{\rho} \leq 1$ aralığında sınırlandırmak ve sıfıra bölme belirsizliğini ortadan kaldırmak için (115) – (117)'de verilen kurallar uygulanmaktadır.

$$if(|\widehat{\Delta}_{ij}| \leq |\widehat{\Delta}_{mn}|) \rightarrow \widehat{\rho}_{ijmn} = \widehat{\Delta}_{ij} / \widehat{\Delta}_{mn} \quad (115)$$

$$if(|\widehat{\Delta}_{ij}| > |\widehat{\Delta}_{mn}|) \rightarrow \widehat{\rho}_{ijmn} = \widehat{\Delta}_{mn} / \widehat{\Delta}_{ij} \quad (116)$$

$$if(\widehat{\Delta}_{mn} = 0) \rightarrow \widehat{\rho}_{ijmn} = 0 \quad (117)$$

Burada, $|\cdot|$ mutlak değer işlemini göstermektedir. İki VZF oranlandığında zaman farklarının işaretleri kaybolmakta ve büyük konumlandırma hatalarına yol açmaktadır. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak için (118)'de verilen işaret uyumsuzluğu değişkeni (ψ) tanımlanmıştır.

$$if(\widehat{\Delta}_{ij} \times \Delta_{ij}^p < 0) \rightarrow \psi_{ijmn}^p = \psi_{ijmn}^p + \Delta_{ij}^p / \widehat{\Delta}_{max}$$

$$if(\widehat{\Delta}_{mn} \times \Delta_{mn}^p < 0) \rightarrow \psi_{ijmn}^p = \psi_{ijmn}^p + \Delta_{mn}^p / \widehat{\Delta}_{max} \quad (118)$$

Burada, Δ^p p . parçacığın konumu için elde edilen zaman farkını, $\widehat{\Delta}_{max}$ hedefin konumuna göre kestirilen en büyük VZF'yi ve ψ^p p . parçacık için işaret uyumsuzluğu değişkenini göstermektedir. Önerilen algoritma için uygunluk fonksiyonu (119)'da verilmiştir.

$$f(\mathbf{x}^p) = \sum_{i=1}^{N-2} \sum_{j=i+1}^N \sum_{m=i}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N \left((\hat{\rho}_{ijmn} - \rho_{ijmn}^p)^2 + \psi_{ijmn}^p \right) \quad (119)$$

$if(i = m) \rightarrow n > j$

Burada, \mathbf{x}^p p . parçacığın konum vektörünü ve $f(\mathbf{x})$ uygunluk fonksiyonunu göstermektedir. Durma koşulu sağlandığında uygunluk fonksiyonu minimum yapan parçacık koordinatları (*gbest*) hedefin kestirilen konumunu (\hat{x}, \hat{y}) vermektedir.

2.4.2. Benzetim Sonuçları

Bu kısımda önerilen yöntemin geçerliliğini göstermek amacıyla bazı benzetim sonuçları sunulmuştur. Benzetimlerde hedef konumu üç farklı durum için aynı başlangıç değerleri ve parametrelerle PSO algoritmasıyla bulunmuş ve 10 bin bağımsız denemenin ortalaması alınarak, ortalama karesel hata (OKH) değerleri hesaplanmıştır. Bu üç durum şunlardır:

Bilinen: Birinci durumda yayılma hızı doğru olarak bilinmekte olup $c = c_0$ alınmıştır. Hedef konumu tam zaman farkı seti için (77)'de verilen uygunluk fonksiyonu kullanılarak, PSO algoritmasıyla bulunmuştur.

Kabul edilen: İkinci durumda yayılma hızı hatalı olarak bilinmektedir ve $c = c_0 + n_c$ alınmıştır. Yayılma hızı (c), gerçek yayılma hızına (c_0), sıfır ortalamalı ve σ_c standart sapmalı Gaussian gürültü eklenerek elde edilmiştir. Kaynak (77)'deki uygunluk fonksiyonuyla PSO ile konumlandırılmıştır.

Bağımsız: Üçüncü durumda yayılma hızı bilinmemekte olup ikinci durumdaki ile aynı alınmıştır. Verici konumu önerilen yöntemle (119)'da tanımlanan uygunluk fonksiyonu kullanılarak, PSO algoritmasıyla bulunmuştur.

Benzetimlerde parçacık sayısı 36, öğrenme faktörleri $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$, maksimum iterasyon sayısı $k_{max} = 1000$ ve arama bölgesi $-200 \leq x \leq 200$, $-200 \leq y \leq 200$ olarak belirlenmiştir. Parçacıklar arama bölgesine (120)'de verildiği gibi eşit aralıklarla dağıtılmış ve arama bölgesinin dışına çıkmaları engellenmiştir.

$$x_p = 80(p\%6) - 200 \quad ve \quad y_p = 80(p/6) - 200 \quad (120)$$

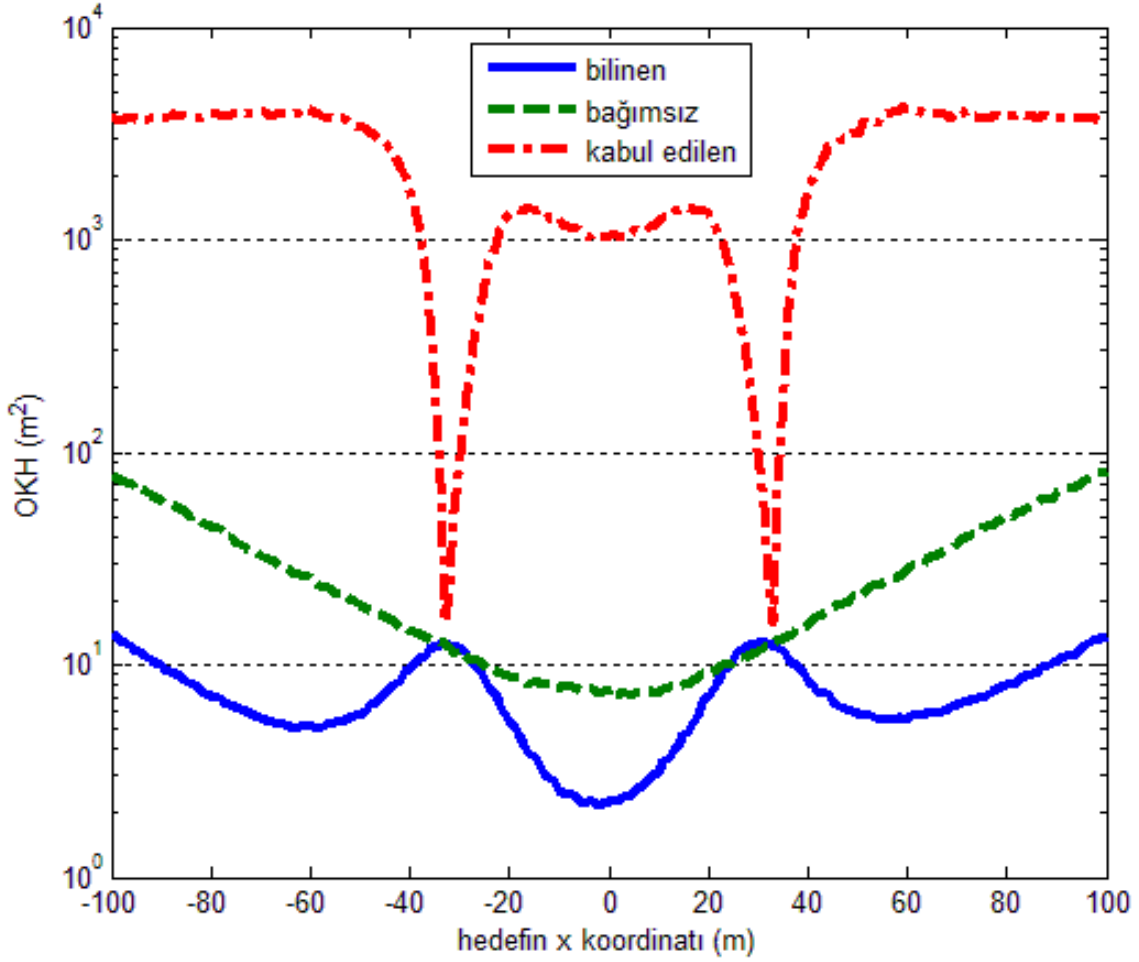
Burada, (%) modüler bölme operatörünü ve (/) tamsayı bölme işlemlerini göstermektedir. Kestirilen zaman farkları ($\hat{\Delta}$) (49)'da tanımlandığı gibi gerçek değerlere (Δ) sıfır ortalamalı ve σ_d standart sapmalı korele Gaussian gürültü (n_d) eklenerek elde edilmiştir.

İlk benzetimde gerçek yayılma hızı $c_0 = 343.2$ m/s (20 °C'de kuru havadaki sesin hızı), yayılma hızı varsayım hatasının standart sapması $\sigma_c = 3$ m/s, VZF gürültüsünün standart sapması $\sigma_d = 10$ μ s seçilmiştir. (56, -83) koordinatlarında bulunan hedef ilk alıcısı orijinde bulunan ($x_1 = 0, y_1 = 0$) ve diğer alıcıları orijin merkezli 5 m yarıçaplı bir çember üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmiş bir alıcı dizisiyle konumlandırılmıştır. Alıcı sayısı dörtten ona kadar arttırılmış ve elde edilen karesel hata değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Tabloda önerilen yöntemin yayılma hızının hatalı bilindiği duruma göre oldukça düşük konumlandırma hatasına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 8. OKH değerlerinin alıcı sayısına bağlı olarak değişimi

Alıcı Sayısı	Ortalama Karesel Hata (m ²)		
	Bilinen	Bağımsız	Kabul Edilen
4	3.1521	9.2632	517.2856
5	4.4553	6.8158	65.9152
6	1.4951	2.1309	4.7900
7	1.1349	1.7090	4.5187
8	0.8987	1.5873	4.3795
9	0.7296	1.5750	4.8016
10	0.5867	1.3774	4.8585

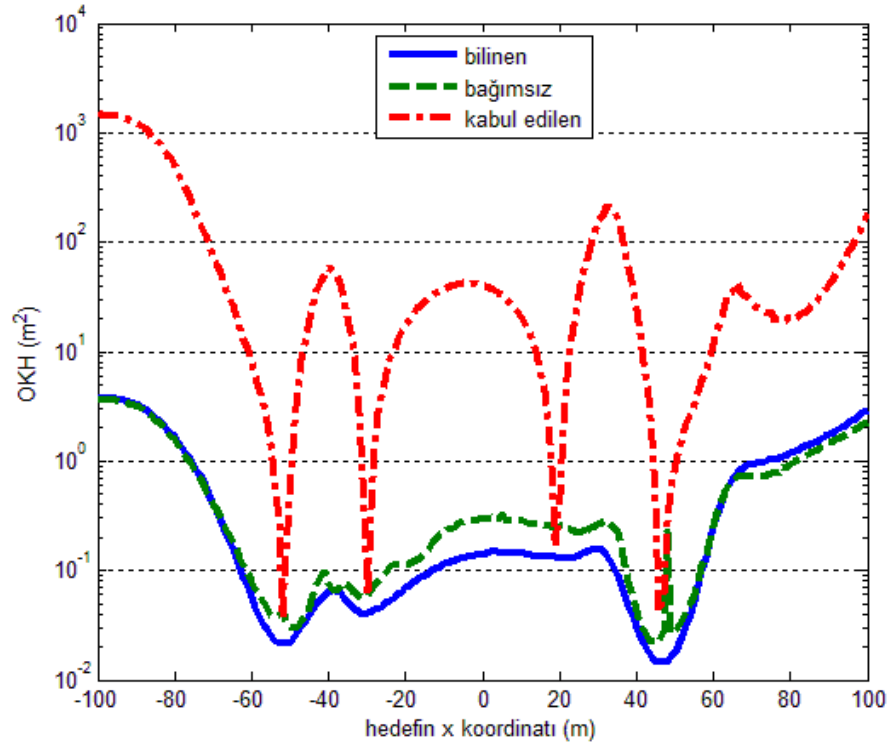
İkinci benzetimde, $c_0 = 343.2$ m/s, $\sigma_c = 3$ m/s ve $\sigma_d = 15$ μ s seçilmiş ve alıcılar {(0, 0); (0, 5); (-4, -3); (4, -3)} koordinatlarına yerleştirilmiştir. Verici, $y = -60$ doğrusu üzerinde, $-100 \leq x \leq 100$ aralığında hareket ettirilmiş ve 201 test noktası için elde edilen karesel hata eğrileri Şekil 25'de verilmiştir. Şekilde önerilen yöntemin konumlandırma hatasının, yayılma hızının doğru bilindiği duruma yakın, hatalı bilindiği duruma göre ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.



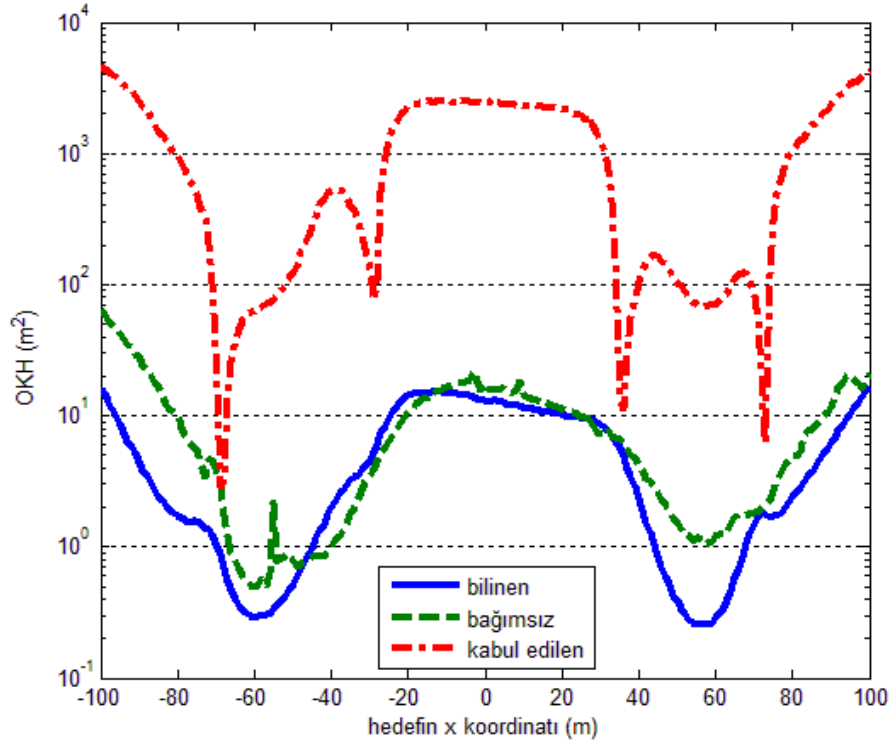
Şekil 25. Dört alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması

Üçüncü benzetimde $c_0 = 343.2$ m/s, $\sigma_c = 4$ m/s, $\sigma_d = 12$ μ s ve alıcı koordinatları $\{(0, 0); (10, 0); (2, 10); (-9, 4); (-1, -10)\}$ seçilmiştir. Kaynak $y = -100 \cos(x\pi/200) - 100$ eğrisi üzerinde $-100 \leq x \leq 100$ aralığında hareket ettirilerek, 201 test noktası için elde edilen OKH eğrileri Şekil 26'da görülmektedir. Bir önceki benzetimde olduğu gibi önerilen yöntem yayılma hızının hatalı bilindiği duruma göre çok düşük karesel hataya sahiptir.

Son benzetimde, $c_0 = 1482$ m/s (sesin 25 °C'deki tatlı sudaki hızı), $\sigma_c = 20$ m/s, $\sigma_d = 20$ μ s ve alıcı koordinatları $\{(3, 6); (0, 12); (-9, -6); (-12, -12); (6, -12); (12, -12)\}$ olarak belirlenmiştir. Hedef $y = 200 \cos(x\pi/200) - 100$ eğrisi üzerinde $-100 \leq x \leq 100$ aralığında hareket ettirilerek, Şekil 27'de verilen OKH eğrileri elde edilmiştir. Şekilde önerilen yöntemin konumlandırma hatasının, Bilinen durumuna yakın ve Kabul edilen durumuna göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 26. Beş alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 27. Altı alıcılı sistem için OKH eğrilerinin karşılaştırılması

Benzetimlerde 201 test noktası için elde edilen OKH değerlerinin ortalaması Tablo 9'da verilmiştir. Tabloda önerilen yöntemin yayılma hızı gürültüsünden kaynaklanan büyük konum hatalarını oldukça azalttığı görülmektedir.

Tablo 9. 201 test noktası için ortalama OKH değerleri

Benzetim	Ortalama OKH (m ²)		
	Bilinen	Bağımsız	Kabul Edilen
İkinci	5.7569	12.8463	590.1026
Üçüncü	0.3339	0.4249	46.5450
Dördüncü	3.1828	11.5755	1269.2974

2.4.3. Sonuçlar

Literatürdeki VZF tabanlı konumlandırma teknikleri yayılma hızının biliniyor kabul edildiği ve kestirildiği yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu kısımda üçüncü bir grup olarak yayılma hızından bağımsız konum tespiti yapan yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde zaman farkları birbirlerine bölünerek, yayılma hızı sadeleştirilmiş ve VZF oranları elde edilmiştir. Ardından bu oranlar kullanılarak, hedef konumu yayılma hızından bağımsız olarak PSO algoritması ile bulunmuştur. Önerilen yöntemin yayılma hızının doğru olarak bilindiği duruma yakın ve hızın hatalı bilindiği duruma göre ise oldukça düşük karesel hataya sahip olduğu benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

Yayılma hızından bağımsız konumlandırma yöntemi akustik, sualtı akustik ve sismik konumlandırma uygulamalarında kolaylıkla ve başarı ile kullanılabilir. Özellikle pasif akustik radar ve keskin nişancı konumlandırma sistemlerinde önerilen yöntemin yayılma hızı gürültüsünden kaynaklanan büyük konum hatalarını belirgin bir şekilde azaltacağı ve bu sistemlerin performanslarında, ciddi bir artış sağlayacağı düşünülmektedir.

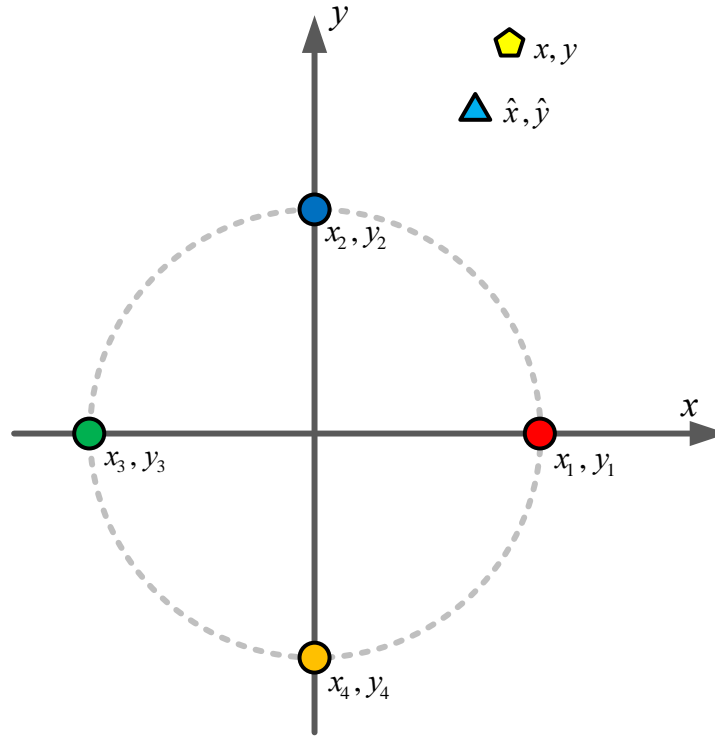
2.5. Alıcı Dizilerinin Dinamik Olarak Yönlendirilmesi ile Verici Konumu Tespiti

Variş zamanları farkı (VZF) ile konumlandırmada doğruluk verici-alıcı geometrisine, zaman farkı kestirim hatasına ve kullanılan konumlandırma algoritmasına bağlıdır. Literatürde VZF kestirimi ve verici konumu tespitine yönelik çok sayıda çalışma olmasına rağmen verici-alıcı geometrisinin konumlandırma hatası üzerindeki etkisi yeterince incelenmemiştir. Mevcut alıcı geometrisi optimizasyonuna yönelik çalışmalarda Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) veya belirsizlik alanı aşağı çekilerek veya Fisher bilgi matrisi (FBM) maksimize edilerek, optimum algılayıcı dizileri bulunmuş ve konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmıştır. Bu kısımda konumlandırma doğruluğunu daha da arttırmak için optimum alıcı dizileri hedefin koordinatlarına bağlı olarak dinamik bir şekilde yönlendirilmiştir. Öncelikle hedef parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla konumlandırılmış ve kaynağın kestirilen koordinatları için CRAS eşiğini en küçük yapacak yönelim açısı yine PSO ile bulunmuştur. Ardından alıcı dizisi yönelim açısı kadar döndürüldükten sonra verici tekrar konumlandırılmış ve konumlandırma hatasında belirgin bir azalma sağlanmıştır. Son olarak önerilen yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla iki boyutlu optimum alıcı geometrileri olan eş açılı dizi (EAD) ve çapraz dizi ile konum tespiti yapılmış ve benzetim sonuçları sunulmuştur.

2.5.1. Alıcı Dizilerinin Dinamik Yönlendirilmesi

Konumlandırma teknikleri radar, sonar, yön güdüm, verici konumu tespiti, gözetleme, kablosuz algılayıcı ağları, robotik ve konum tabanlı hizmetler gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde VZF kestirimi ve konum tespit algoritmalarına yönelik çok sayıda çalışma olmasına rağmen verici-alıcı geometrisinin konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkisi yeterince incelenmemiştir. [165]'de belirsizlik alanı küçültülerek, doğrusal dizi için optimum algılayıcı dağılımları doğrultu, mesafe ve konum için verilmiştir. [166]'da CRAS eşliğinin basit bir geometrik yorumunu geliştirilmiş ve hedefin mesafe, doğrultu ve konum eşik değişintisini en küçük yapacak algılayıcı yerleşimlerini bulmak için kullanmıştır. [167]'de VZF ile konumlandırmada CRAS'nin özellikleri çıkartılmış ve eşığı minimize edecek optimum algılayıcı dizileri tasarlanmıştır. [168]'de iki boyutlu algılayıcı dizilerinin

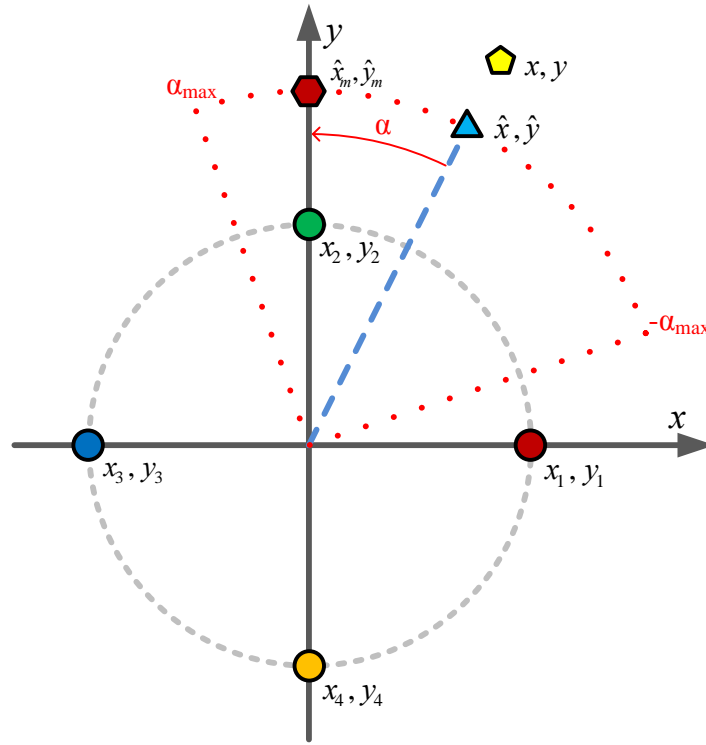
teorik konumlandırma doğruluğu incelenmiştir. [169]'da en büyük FBM, en küçük CRAS, küresel kodlar, EAD, platonik katılar ve bunların alıcı yerleşimi optimizasyonundaki etkilerinden bahsedilmiştir. [170]'de CRAS teorik sınırı minimize edilerek, VZF varış zamanı (VZ) ve varış doğrultusu (VD) yöntemleri için mesafe, doğrultu ve konuma göre optimum alıcı yerleşimleri bulunmuştur. [171]'de kablosuz ağlarda optimum referans düğüm için doğrusal eşitliklerdeki karışıklık teorisi tabanlı bir yöntem tanıtılmış ve farklı optimum topolojiler önerilmiştir. [172]'de çoklu-durağan RF dizilerde konum seçimine yeni bir yaklaşım sunulmuş ve sensör pozisyonları sonsal Cramer-Rao alt sınırını (SCRAS) aşağı çekecek şekilde seçilmiştir. [173]'de durağan ve hareketli kaynak durumlarında,bağlı algılayıcı-kaynak optimizasyonunu sağlamak için CRAS'yi ve sonsal hata özdeğişintisini (SHÖ) kullanan yeni bir yöntem önerilmiştir. [174]'de üç veya daha fazla alıcı içi rota optimizasyonuna yönelik kokusuz Kalman filtresi (KKF) tabanlı bir algoritma sunulmuştur. Bu kısımda konumlandırma doğruluğunu daha da arttırmak için optimum alıcı dizileri hedefin kestirilen konumu için CRAS [74] değerini en küçük yapacak şekilde yönlendirilmiş olup hedef konumu ve optimal yönelim açısı PSO algoritmasıyla [18] bulunmuştur.



Şekil 28. Eş açılı alıcı dizisi ile konum tespiti

Önerilen yöntem ile konum tespiti üç adımda gerçekleştirilmektedir. Öncelikler hedef Şekil 28’de de görüldüğü gibi yönelim açısı sıfır iken PSO algoritmasıyla konumlandırılmaktadır. Şekilde daireler alıcıları, beşgen vericinin gerçek koordinatlarını ve üçgen de kaynağın kestirilen konumunu temsil etmektedir.

İkinci adımda kaynağın konumuna bağlı olarak CRAS değerini en küçük yapacak yönelim açısı yine PSO ile bulunmaktadır. Konum tespitinde parçacıklar iki boyutlu (x, y) iken yönelim açısının bulunmasında tek parametrelidir (θ) .

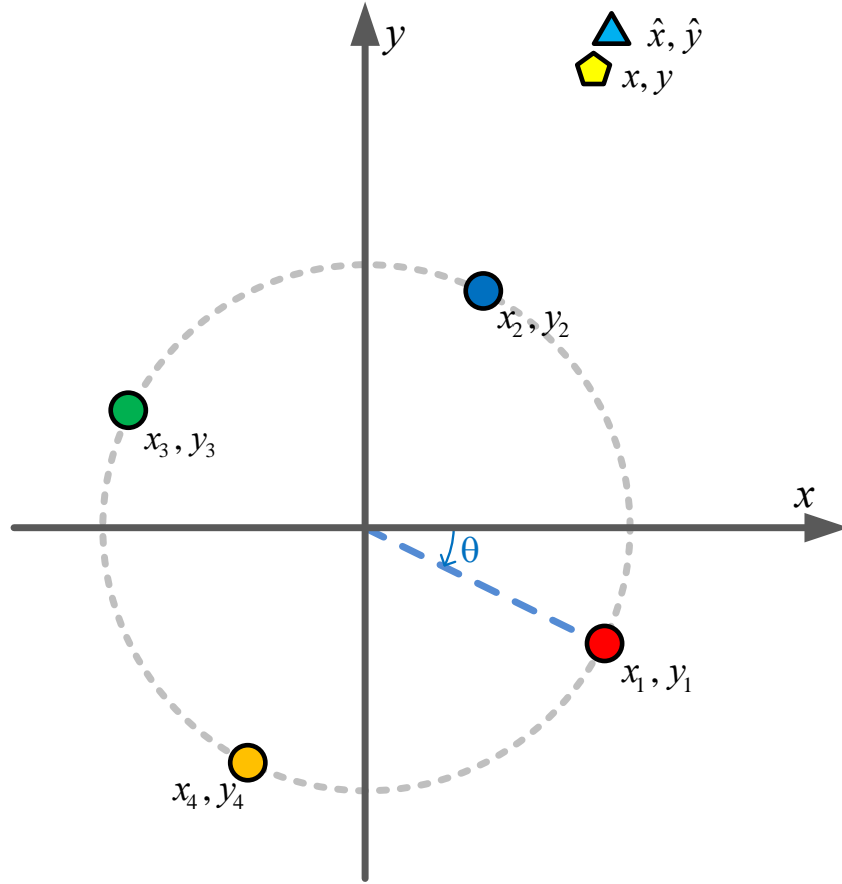


Şekil 29. PSO algoritmasıyla döndürme açısının bulunması

Şekil 29’da, (\hat{x}_m, \hat{y}_m) hedefin CRAS’yi en küçük yapan döndürülmüş kestirilen konumunu, α hedefin kestirilen koordinatlarının döndürme açısını ve α_{max} en büyük döndürme açısını göstermektedir. Yönelim açısının tespitinde, yakınsama hızını arttırmak ve işlem yükünü azaltmak amacıyla arama bölgesi $\pm\alpha_{max}$ aralığında sınırlandırılmıştır. α_{max} açısı alıcı dizinin geometrisi ile belirlenmekte olup N alıcılı EÇO için (121)’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\alpha_{max} = \pi/N \quad (121)$$

Yönelim açısının tespitinde işlem yükünü azaltmak için alıcı dizisi yerine hedefin kestirilen konumu (121) ile ifade edilen aralıkta döndürülmektedir. Parçacıklar, $\pm\alpha_{max}$ aralığında eşit aralıklarla yerleştirildikten sonra döndürme açısı PSO ile bulunmaktadır.



Şekil 30. Alıcı dizisi yönlendirildikten sonra konum tespiti

Son adımda Şekil 30'da da görüldüğü gibi alıcı dizisi yönelim açısı ($\theta = -\alpha$) kadar döndürüldükten sonra hedef tekrar konumlandırılmaktadır. Bu ikinci konum tespitinde alıcı dizisi CRAS eşliğinin en küçük olduğu doğrultuda kaynak koordinatlarını kestirdiği için konumlandırma doğruluğunda belirgin bir artma olmaktadır. Ayrıca konumlandırma hatasının verici doğrultusuna olan bağlılığı da ortadan kaldırılmaktadır.

2.5.2. Benzetim Sonuçları

Bu kısımda önerilen yöntemin başarımını test etmek amacıyla bazı benzetim sonuçları sunulmuştur. PSO algoritmasıyla verici konumu tespitinde 36 parçacık kullanılmış olup parçacıklar arama bölgesine $(-100 \leq x \leq 100, -100 \leq y \leq 100)$ eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Öğrenme katsayıları $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ ve maksimum yineleme sayısı $k_{max} = 1000$ alınmıştır. PSO ile yönelim açısı (θ) bulurken ise 12 parçacık $\pm\alpha_{max}$ aralığına eşit aralıklar dağıtılmış olup $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ ve $k_{max} = 100$ alınmıştır. Benzetimlerde, c sinyalin yayılma hızı olmak üzere zaman farkı gürültü gücü $\sigma_d^2 = 0,0001/c^2$ alınmıştır.

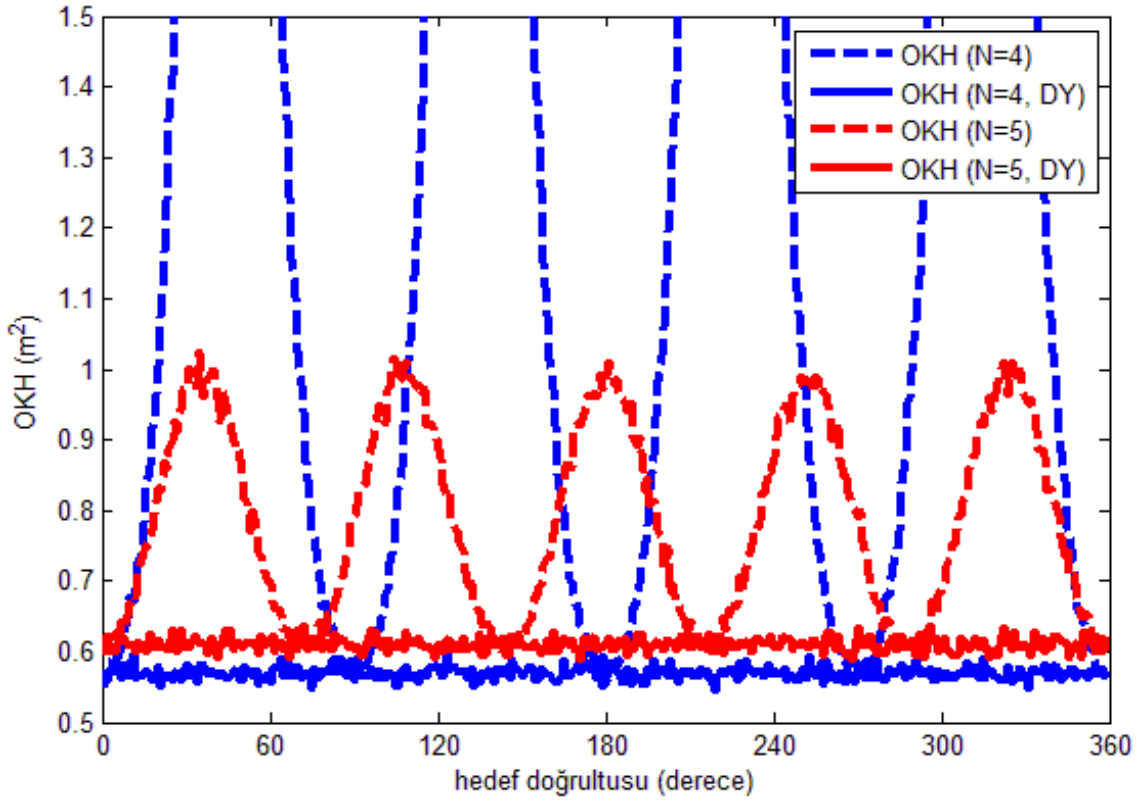
İlk benzetimde hedef iki boyutlu düzlemde (25,16) koordinatlarına yerleştirilmiş ve merkezi orijinde olan 6 m çaplı EAD ile konumlandırılmıştır. 100 bin bağımsız deneme sonucunda elde edilen OKH değerleri, (92) numaralı eşitlikle hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir. Tabloda alıcı dizisi dinamik olarak yönlendirildikten sonra OKH değerlerinde dört alıcı durumda ciddi, beş alıcı durumda belirgin ve altı alıcı durumda ise bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Alıcı sayısı yediye ve sekize çıkarıldığında EAD'nin konumlandırma hatası doğrultudan bağımsız olmaya başladığı için OKH değerlerinde kayda değer bir azalma olmamıştır. Tabloda dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise önerilen yöntemin tek yinelemede hedeflenen başarımların sağlanmasıdır.

Tablo 10. Karesel hata değerlerinin alıcı ve yineleme sayısına göre değişimi

Alıcı Sayısı	OKH (m ²)	1. Yineleme		2. Yineleme		3. Yineleme	
		OKH (m ²)	θ (°)	OKH (m ²)	θ (°)	OKH (m ²)	θ (°)
4	8.4828	1.3294	32.62	1.3214	0.00	1.3447	0.00
5	2.2334	1.5020	32.62	1.5034	0.00	1.4946	0.00
6	1.3260	1.2602	-26.51	1.2603	0.04	1.2603	0.00
7	0.9524	0.9463	-18.81	0.9430	0.00	0.9442	0.00
8	0.7287	0.7275	-12.38	0.7302	0.00	0.7323	0.00

İkinci benzetimde orijine uzaklığı 40 m olan verici orijin merkezli ve 5 m çaplı EAD ile konumlandırılmıştır. Kaynak alıcı dizisi etrafında bir tam tur döndürülmüş ve 360 test noktası

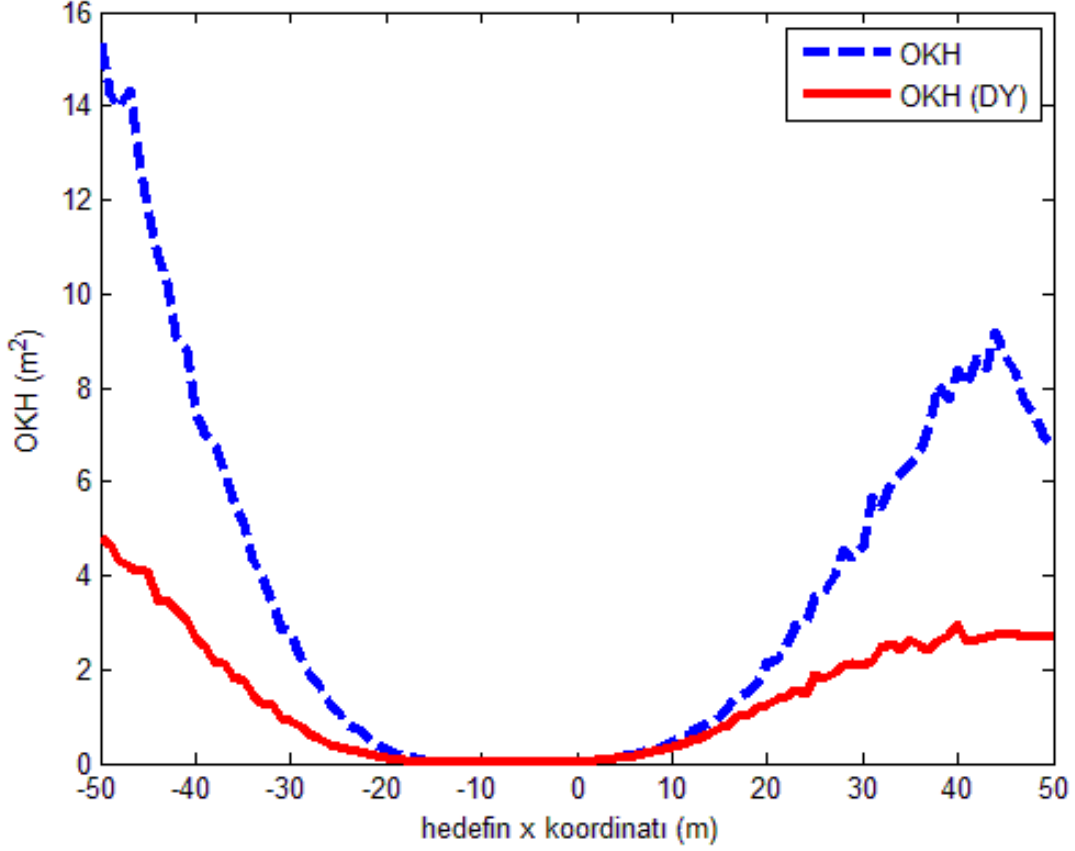
için 10 bin bağımsız deneme sonunda elde edilen OKH eğrileri Şekil 31’de verilmiştir. Şekilde, N alıcı sayısını ve DY tek yineleme için dinamik yönlendirme uygulandıktan sonraki OKH eğrilerini göstermekte olup dinamik yönlendirmeden sonra konumlandırma hatasının en küçük değerine indiği ve doğrultudan bağımsız hale geldiği görülmektedir. Ayrıca dört alıcılı dizinin konumlandırma hatası beş alıcılı diziden daha düşük çıkmıştır. Bu durum alıcı geometrisinin de en az alıcı sayısı kadar önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 31. EAD ile konum tespitinde dinamik yönlendirme yokken ve varken elde edilen OKH eğrileri

Son benzetimde hedef merkezi orijinde olan ve 4 m çaplı sekiz alıcılı çapraz dizi [170] ile konumlandırılmıştır. Kaynak konumu (122) numaralı eşitlikteki gibi seçilip 101 test noktası için 10 bin bağımsız deneme sonucunda elde edilen OKH eğrileri Şekil 32’de verilmiştir. Şekilde, dinamik yönlendirme uygulandıktan sonra konumlandırma hatasında ciddi bir azalma olduğu görülmektedir.

$$y = 50\cos(\pi(x + 50/80)) \quad \text{ve} \quad -50 \leq x \leq 50 \quad (122)$$



Şekil 32. Çapraz dizi ile konum tespitinde dinamik yönlendirme yokken ve varken elde edilen OKH eğrileri

2.5.3. Sonuçlar

Verici konumu tespitinde alıcı dizileri optimize edilerek, konumlandırma hatasında ciddi azalmalar sağlanmaktadır. Bu kısımda konumlandırma doğruluğunu daha da arttırmak için alıcı dizileri hedefin kestirilen koordinatlarına göre CRAS eşliğini en küçük yapacak şekilde yönlendirilmiştir. Önerilen yöntemin tek yinelemede konumlandırma hatasında belirgin bir azalma sağladığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir. Ayrıca dinamik yönlendirmeden sonra optimum alıcı dizilerinin konumlandırma hatalarının, doğrultudan bağımsız hale geldiği tespit edilmiştir.

2.6. Deneysel Çalışmalar

Bu kısımda üç farklı alıcı geometrisi ve altı hedef noktası için akustik bir kaynağın konumu tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Öncelikle ölçüm sistemi tanıtılmıştır. Ardından alınan ses ölçümleri arasındaki zaman farkları kestirilmiş ve hedef konumlandırılmıştır. Son olarak hesaplanan karesel hata değerleri teorik limitle kıyaslanmıştır.

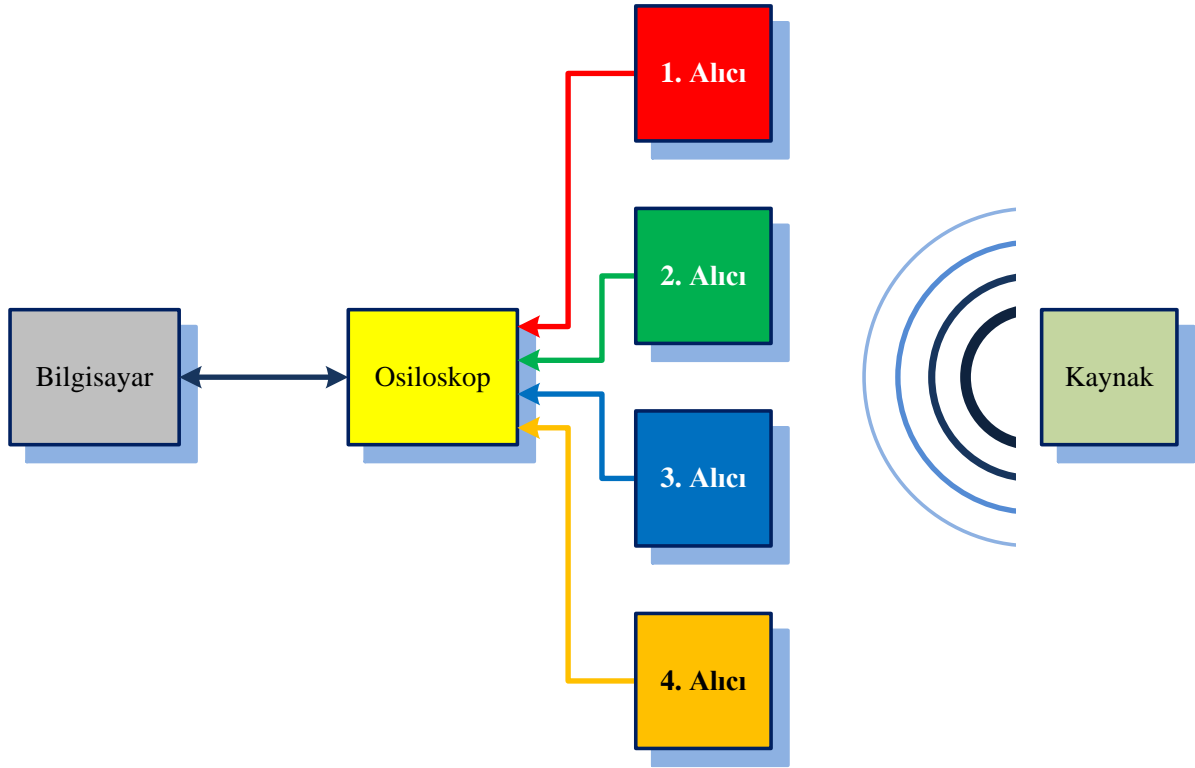
2.6.1. Ölçüm Sistemi ve Test Ortamı

Akustik ölçümler 2014 yılının Temmuz ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün D6 dersliğinde yapılmıştır. Şekil 33'de görülmekte olan test ortamının boyu 20.7 m, eni 12.1 m ve yüksekliği 3.0 m olup zemini 60 cm x 60 cm ebatlarında sırlı seramik karolarla kaplıdır. Dersliğin ön (+y), arka (-y) ve sol (-x) cephesinde üç sıra halinde 60 cm x 60 cm boyutlarında akustik kumaş kaplı duvar panelleri bulunmaktadır. Sınıfın sağ cephesi (+x) boydan boya pencere olup ölçüm esnasında yansımayı azaltmak amacıyla stor perdeler indirilmiştir. Test alanının tüm cepheleri kapalı ve yansıtıcı yüzeylerden oluştuğu için akustik olarak oldukça yansıtıcı bir ortamdır.



Şekil 33. Test ortamı ve ölçüm düzeneğinin genel görünümü

Şekil 34’de ölçüm sisteminin blok şeması görülmektedir. Akustik bir vericiden yayılan ses işareti dört mikrofonla alınmış ve sayısal osiloskop ile eş zamanlı olarak örneklenerek, taşınabilir belleğe kayıt edilmiştir. Kaydedilen bu sinyaller bilgisayarda işlenerek hedefin konumu bulunmaktadır. Ses kaynağı olarak Şekil 35’de görülen Gamo marka ve PT-85 model bir havalı tabanca kullanılmıştır [175, 176]. Noktasal ses kaynağı Manfrotto marka #161MK2 model bir üçayaklı sehpa [177] ve #400 model sehpa başlığı [178] üzerine monte edilmiş ve yerden yüksekliği 1.42 m’ye ayarlanmıştır. Ölçüm esnasında hedef koordinatlarının değişmemesi için sehpa seramik zemine sıcak silikon ile yapıştırılmıştır. Kaynaktan yayılan patlama sinyali Spekon marka ve KM-1000 model yüksek hassasiyetli dört adet mikrofonla alınıp Hameg marka ve HMO3524 model sayısal osiloskoba [179, 180] aktarılmaktadır. Analog ses işaretleri 60 ms boyunca 400 kHz’de örneklenip her kanal için 8 bitlik 24.000 sayısal veri osiloskoba takılı olan taşınabilir belleğe, ikili dosya formatında kaydedilmektedir. Son olarak bilgisayarda bu verilerle zaman farkı kestirimi yapılmakta ve konumlandırma algoritmaları ile hedef koordinatları tespit edilmektedir.



Şekil 34. Akustik ölçüm düzeneğinin blok şeması



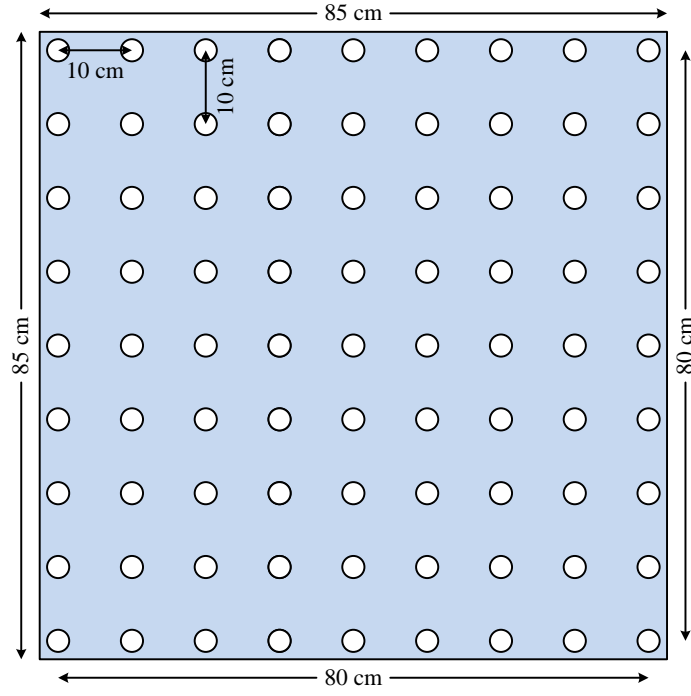
Şekil 35. Noktasal ses kaynağı ve taşıyıcısı

2.6.2. İki Boyutlu Mikrofon Dizisi Geometrileri ve Test Noktaları

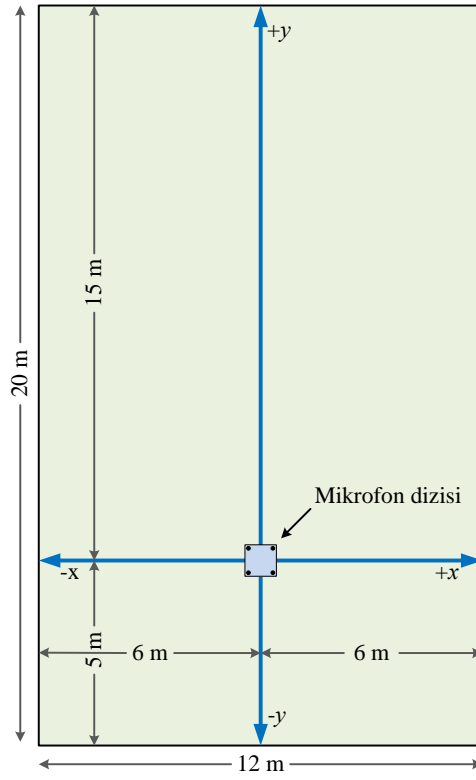
Deneysel çalışmalarda Tablo 11’de verilen üç farklı mikrofon dizisiyle altı test noktasından alınan yüzer adet ölçüm kullanılarak konum tespiti yapılmıştır. Dört mikrofon Şekil 36’deki taşıyıcı üzerine farklı dizilimlerle yerleştirilmiş ve Digipod marka ve TR-550N model dört adet üçayaklı sehpa ile yerden 1.42 m yükseltilmiştir. Hedef ve alıcılar aynı yükseklikte bulunduğu için konum tespiti iki boyutlu (x, y) düzlemde Şekil 37’de görülen test alanında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 11. Mikrofon dizisi geometrisi ve test noktaları

Geometri	Hedef Noktası	Alıcı Koordinatları (m)								Hedef Koordinatları (m)	
		1. Alıcı		2. Alıcı		3. Alıcı		4. Alıcı		x	y
		x	y	x	y	x	Y	x	y		
1	1	0.4	0.4	-0.4	0.4	-0.4	-0.4	0.4	-0.4	3.58	2.40
	2									2.41	9.04
2	3	0.0	0.0	0.0	0.4	-0.4	-0.4	0.4	-0.4	2.99	5.42
	4									-2.99	0.62
3	5	0.0	0.4	-0.4	0.0	0.0	-0.4	0.4	0.0	2.40	3.61
	6									0.61	8.45



Şekil 36. Mikrofon dizisi taşıyıcısı

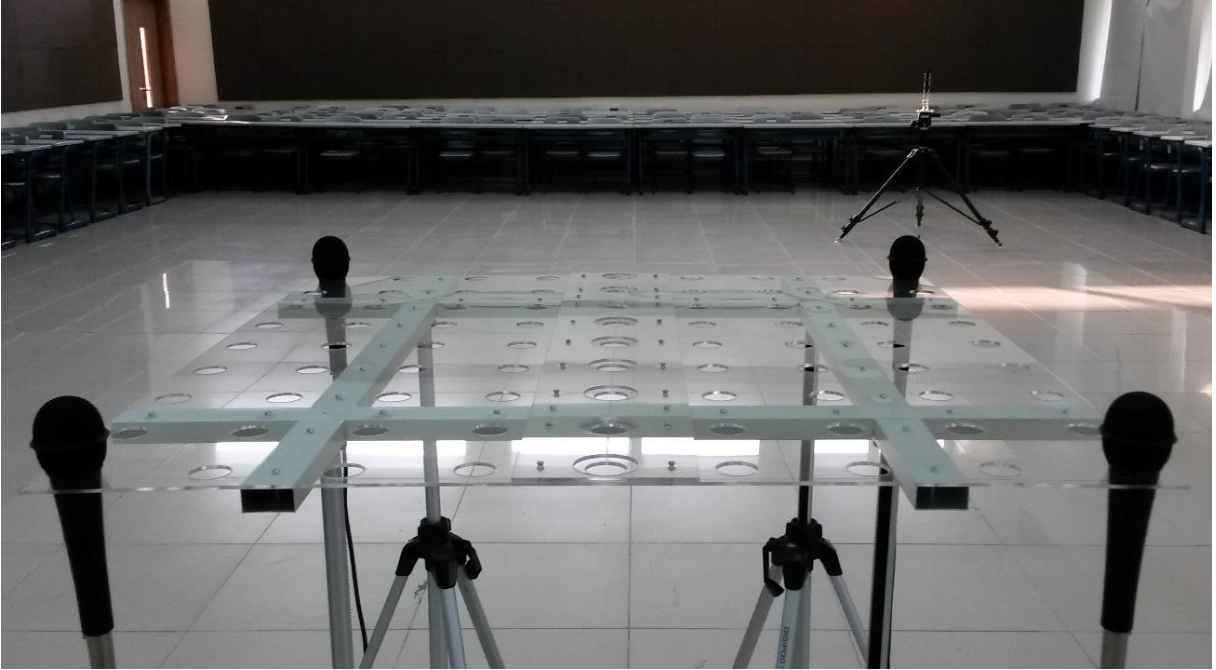


Şekil 37. Test alanı ve koordinat düzlemi

İlk mikrofon dizisi için birinci test noktası Şekil 38’de ve ikinci test noktası Şekil 39’da görülmektedir. İkinci geometri için hedef konumları Şekil 40 ve Şekil 41’da ve son geometri için ölçüm noktaları Şekil 42 ve Şekil 43’de verilmiştir.



Şekil 38. Birinci geometri ve birinci test noktasının genel görünümü



Şekil 39. Birinci geometri ve ikinci test noktasının genel görünümü



Şekil 40. İkinci geometri ve üçüncü test noktasının genel görünümü



Şekil 41. İkinci geometri ve dördüncü test noktasının genel görünümü



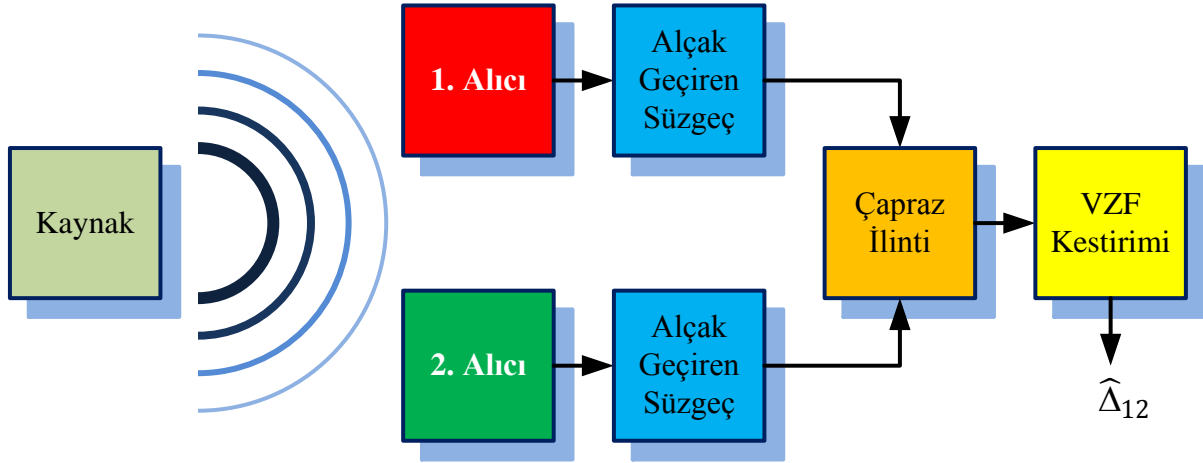
Şekil 42. Üçüncü geometri ve beşinci test noktasının genel görünümü



Şekil 43. Üçüncü geometri ve altıncı test noktasının genel görünümü

2.6.3. Varış Zamanları Farkı Kestirimi

Literatürde varış zamanları farkı (VZF) kestirimine yönelik birçok teknik [181, 182] bulunmakla beraber bu kısımda yüksek doğruluğu ve basitliği nedeniyle çapraz ilinti yöntemi [183, 184] kullanılmıştır. Şekil 44’de zaman farkı kestiriminin blok şeması görülmektedir.



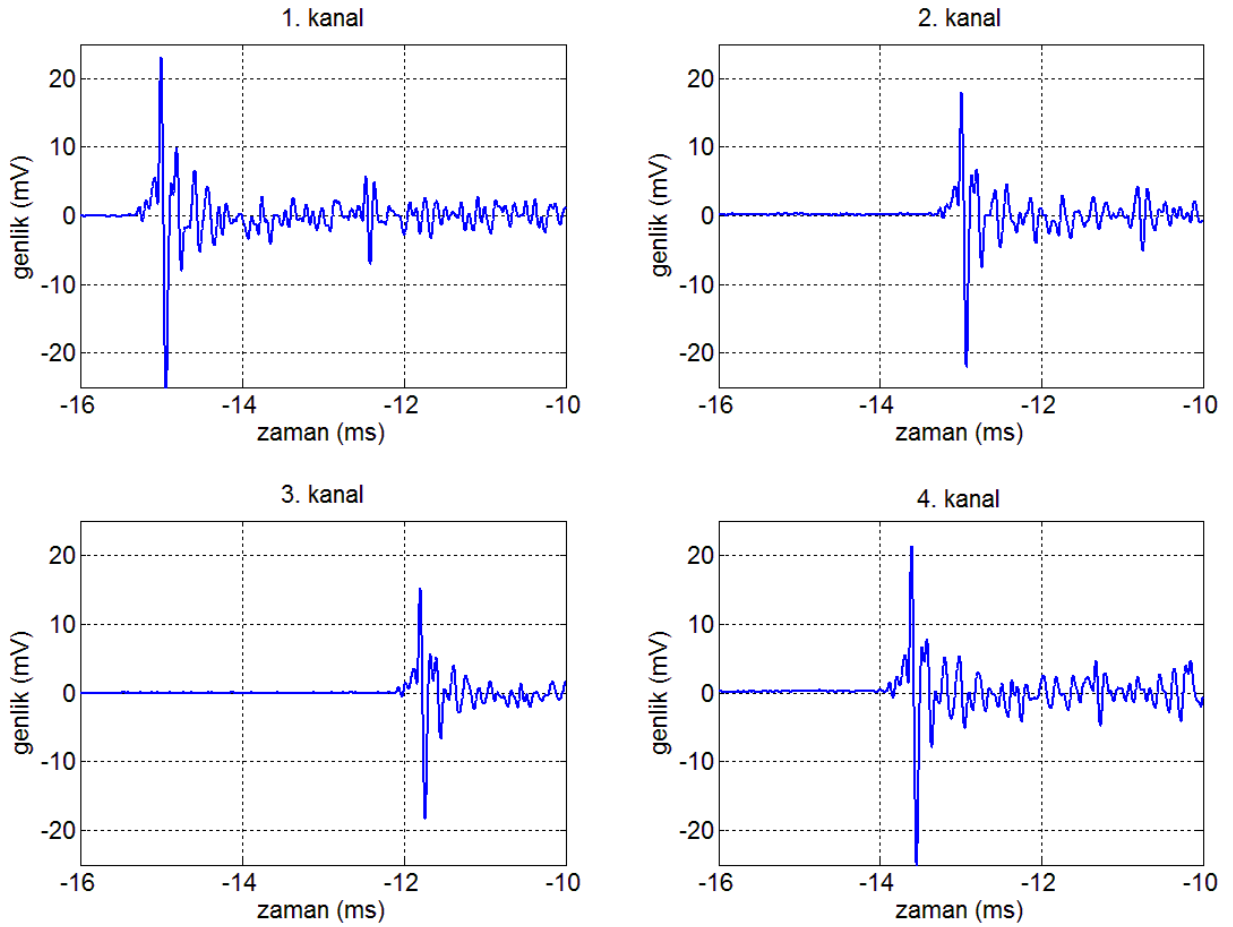
Şekil 44. Varış zamanları farkı kestiriminin blok şeması

Kaynaktan yayılan sinyal osiloskop tarafından eş zamanlı olarak örneklenmekte ve 8 bitlik sayısal verilere dönüştürülmektedir. Analog işaret 256 sevide sayısallaştırıldığı için örnekler arasında keskin geçişler oluşmaktadır. Bu geçişleri yumuşatmak amacıyla alınan sinyaller öncelikle (123) ile ifade edilen alçak geçiren süzgeçten (AGS) geçirilmektedir. Ardından yüksek frekans bileşenleri süzölmüş sayısal sinyallerin çapraz ilinti fonksiyonu hesaplanmaktadır. Çapraz ilinti fonksiyonunda en büyük genliği veren gecikme değeri kestirilen zaman farkına karşılık gelmektedir.

$$o_k = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} o_{k+i} \quad (123)$$

Burada, o sekiz bitlik sayısal örneği L süzgeç boyunu ve i, k örnek indislerini göstermektedir. (123)'de tanımlanan AGS ortalama alma işlemi olup $L = 10$ seçilmiştir.

Şekil 45’de birinci alıcı dizisi ile ilk hedef noktasından alınan ses işaretleri görülmektedir. Sayısal osiloskop dört kanaldan aldığı ses işaretlerini -30 ms ile 30 ms aralığında 400 kHz’de örnekleyip taşınabilir belleğe kaydetmektedir. Osiloskopta sesin ilk ulaşacağı kanal tetikleme girişi olarak seçilmiş ve tetikleme zamanı -15 ms olarak ayarlanmıştır. Zaman farkı kestiriminde işlem yükünü azaltmak ve doğruluğu arttırmak amacıyla alınan işaretlerin -25 ms ile -5 ms (8.000 örnek) arasındaki anlamlı kısmı kullanılmıştır.



Şekil 45. İlk alıcı dizisi ile birinci hedef noktasından alınan ses sinyalleri

Tablo 11’de verilen birinci alıcı geometrisi ve birinci hedef noktası için elde edilen çapraz ilinti grafikleri ve kestirilen zaman farkları Şekil 45 – Şekil 50’de görülmektedir. Kestirilen VZF’lerinin tutarlı olup olmadıklarının tespit edilmesi için sesin ortamdaki yayılma

hızının biliniyor olması gerekmektedir. Deneysel çalışmalarda ses hızı ölçülmemiş ancak ortamın sıcaklığı kaydedilmiştir. Ses hızı sıcaklığa bağlı olarak (124) ile hesaplanmaktadır.

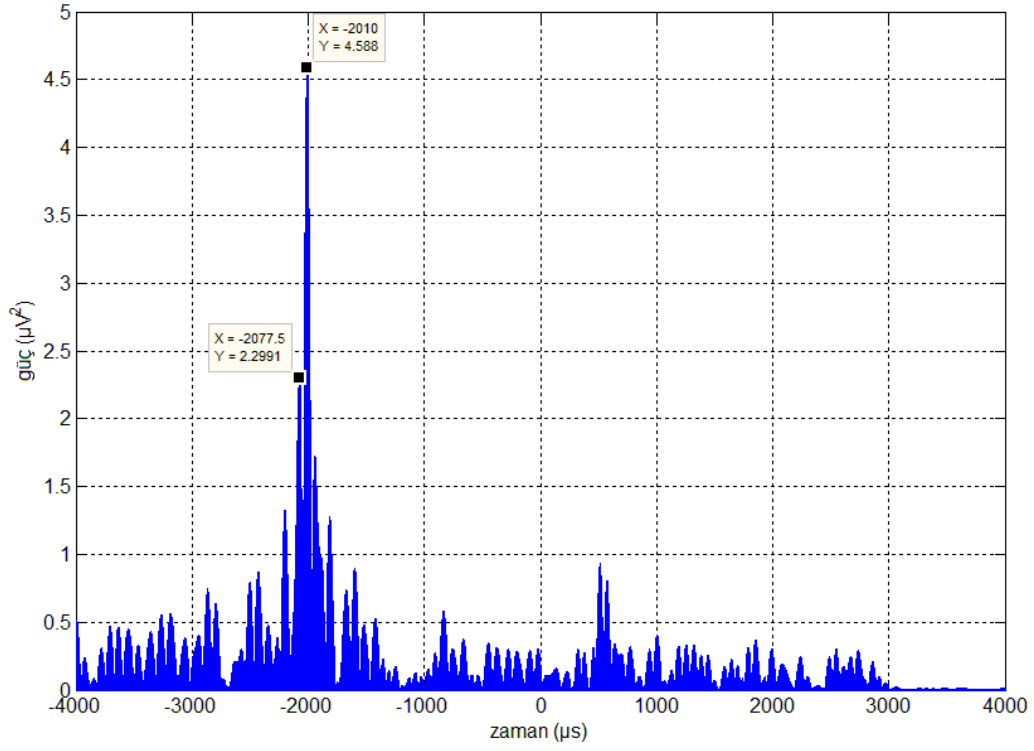
$$c = 20.05\sqrt{t_h + 273.15} \quad (124)$$

Burada, c ses hızını ve t_h hava sıcaklığını göstermektedir. Sesin havadaki yayılma hızı ortamın yoğunluğuna ve elastikiyetine bağlı olarak değiştiği için (124) numaralı eşitlikle hız yaklaşık olarak bulunmaktadır. Çünkü nem, basınç, irtifa ve atmosferik olaylar (rüzgâr, sis, yağmur, kar, vb.) ortamın yoğunluğunu ve elastikiyetini dolayısıyla da ses hızını değiştirmektedir. Ses hızı hesabındaki bir diğer hata kaynağı da ortam sıcaklığı ölçüm doğruluğudur. Test ortamındaki hava sıcaklığı doğruluğu ± 1 °C olan sayısal bir termometre ile 27 °C ölçülmüştür. Birinci geometri ve test noktası için ses hızı (125)'de ve zaman farkları da (126)'da ki gibi bulunmuştur.

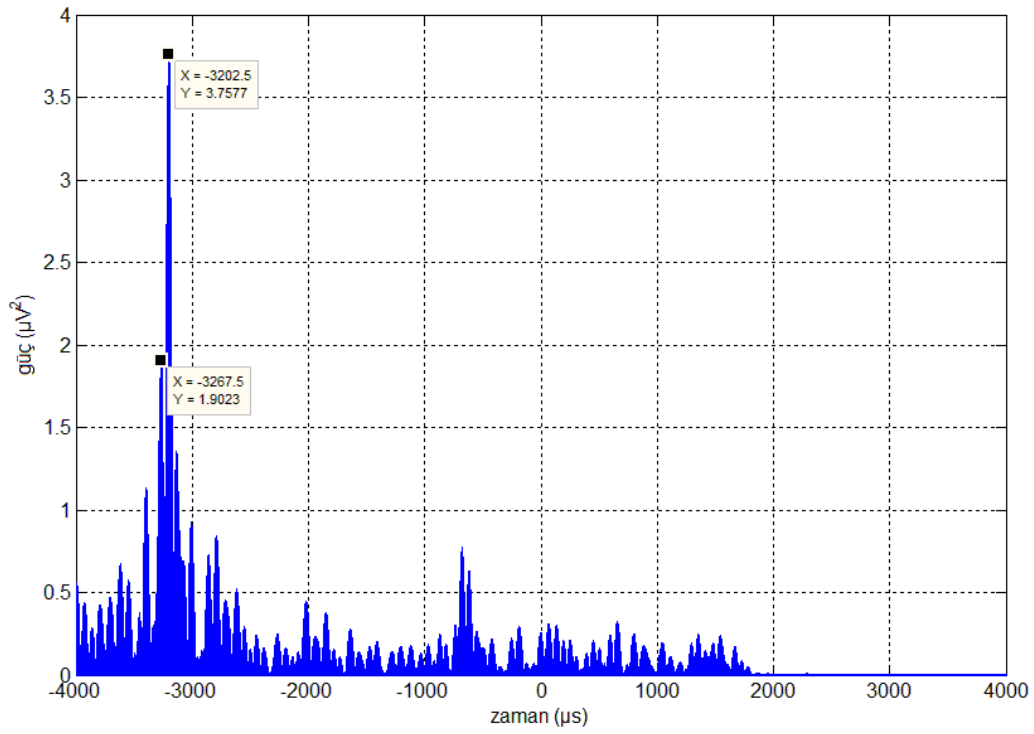
$$c = 20.05\sqrt{27 + 273.15} = 347.3630 \text{ m/s} \quad (125)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = -2011.7 \mu s \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = -3199.7 \mu s \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -1385.2 \mu s \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = -1188.0 \mu s \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = 626.4 \mu s \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = 1814.5 \mu s \end{aligned} \quad (126)$$

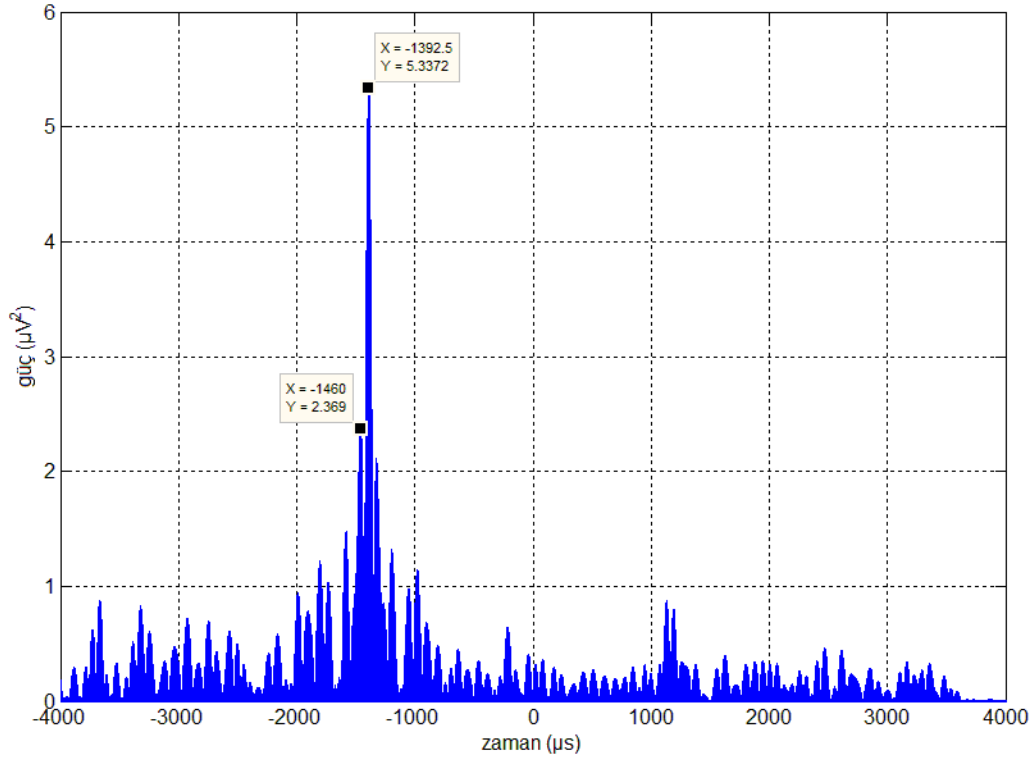
Şekil 46'da ilk ve ikinci alıcılara ait sinyaller arasındaki çapraz ilinti grafiği görülmektedir. Hedef alıcılara nispeten yakın olduğu için doğrudan gelen işaret yansıyan sinyallere göre daha baskın olup kestirilen VZF (-2010 μs) olması gereken zaman farkına (-2011.7 μs) oldukça yakın çıkmıştır. Benzer şekilde Şekil 47 – Şekil 51'de verilen diğer zaman farkları da yüksek doğrulukla kestirilmiştir.



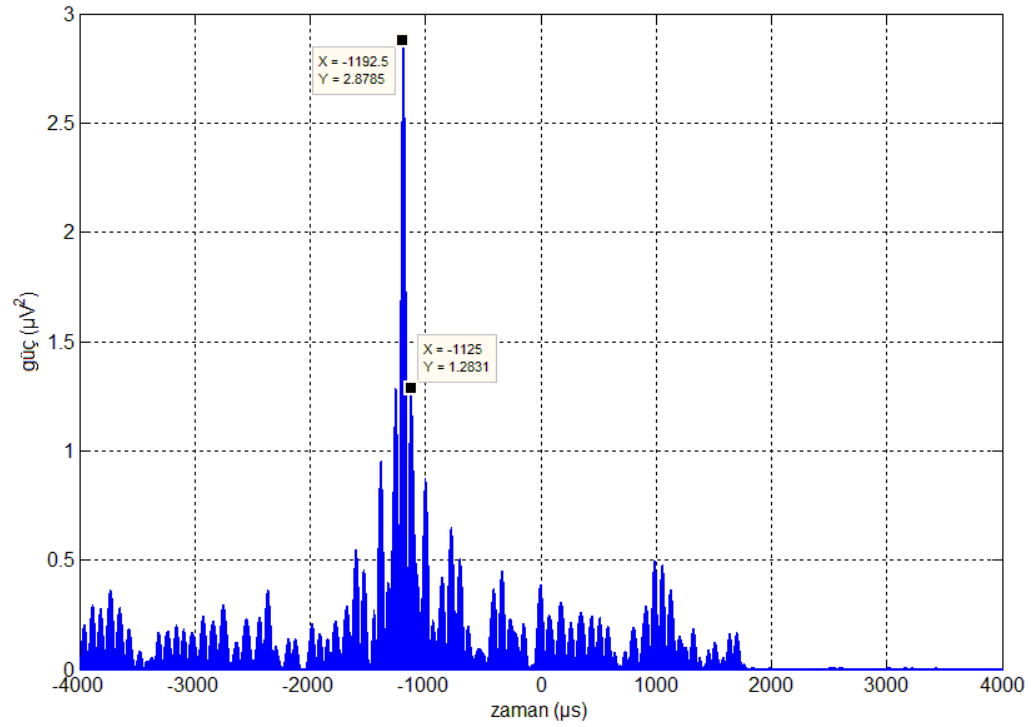
Şekil 46. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



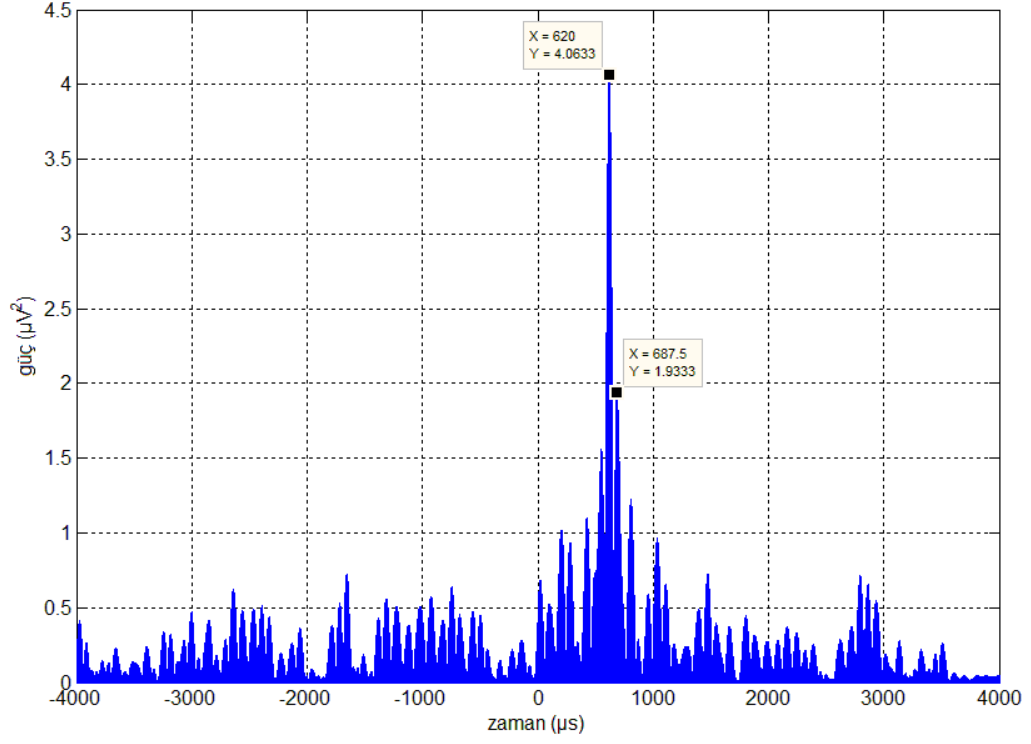
Şekil 47. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



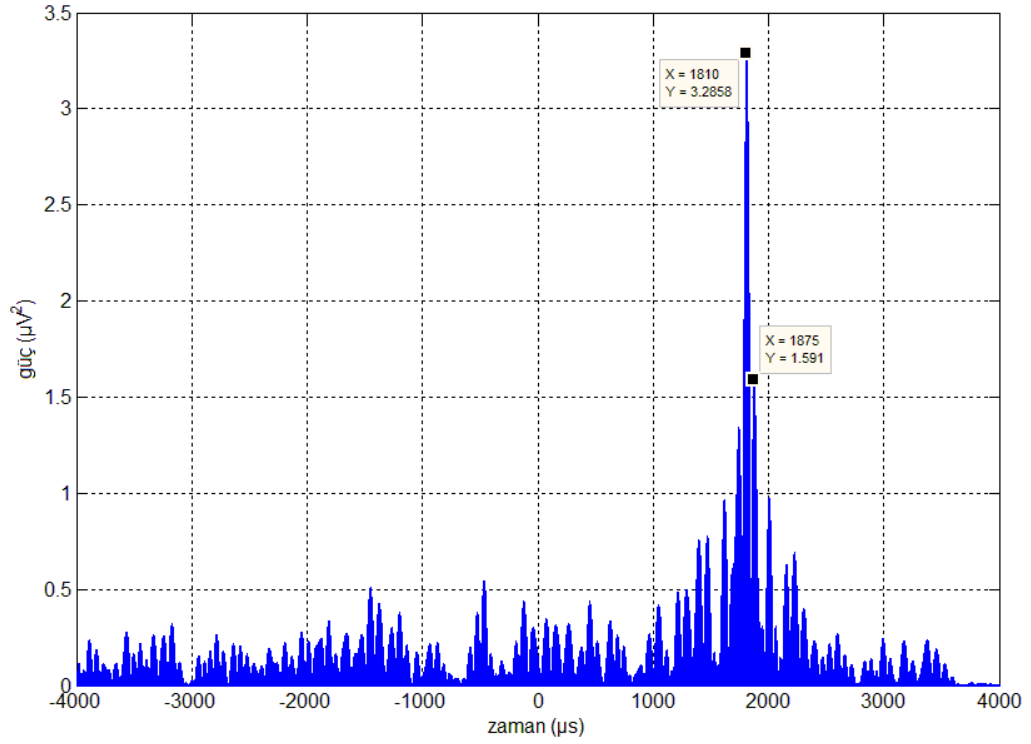
Şekil 48. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 49. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı

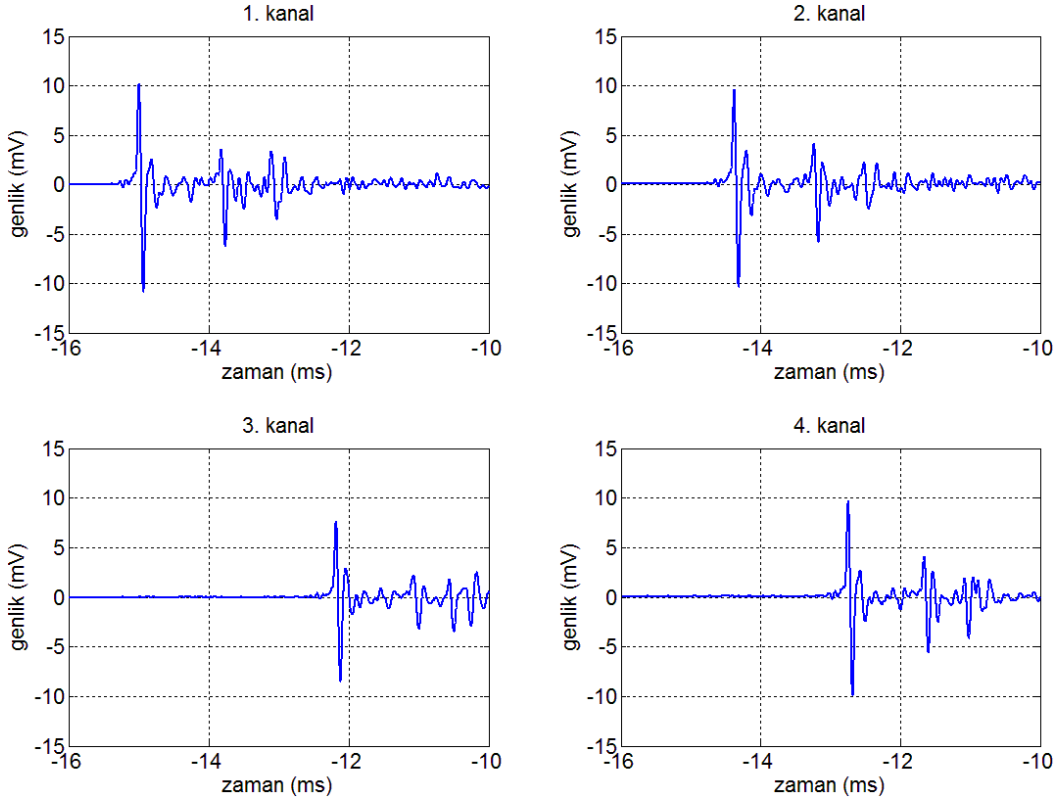


Şekil 50. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 51. Birinci geometri ve ilk hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

Şekil 52’de ilk alıcı dizisi ile ikinci test noktasından alınan akustik işaretler görülmektedir. Hedeften yayılan patlama sinyali önce birinci alıcıya ardından ikinci, dördüncü ve üçüncü mikrofona ulaşmıştır. Ortam sıcaklığı 28 °C ölçülmüş olup hesaplanan yayılım hızı (127) ve beklenen zaman farkları (128)’de verilmiştir.

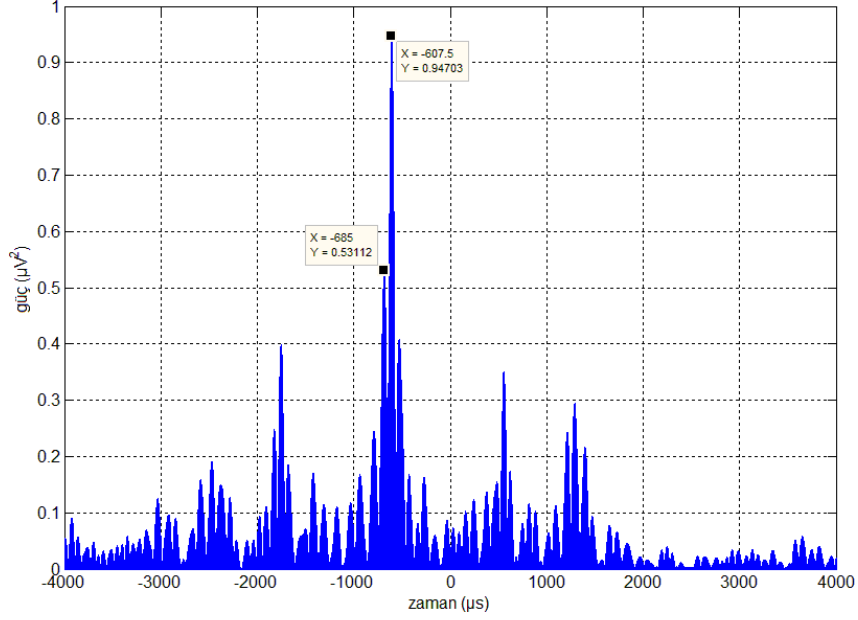


Şekil 52. İlk alıcı dizisi ile ikinci hedef noktasından alınan akustik işaretler

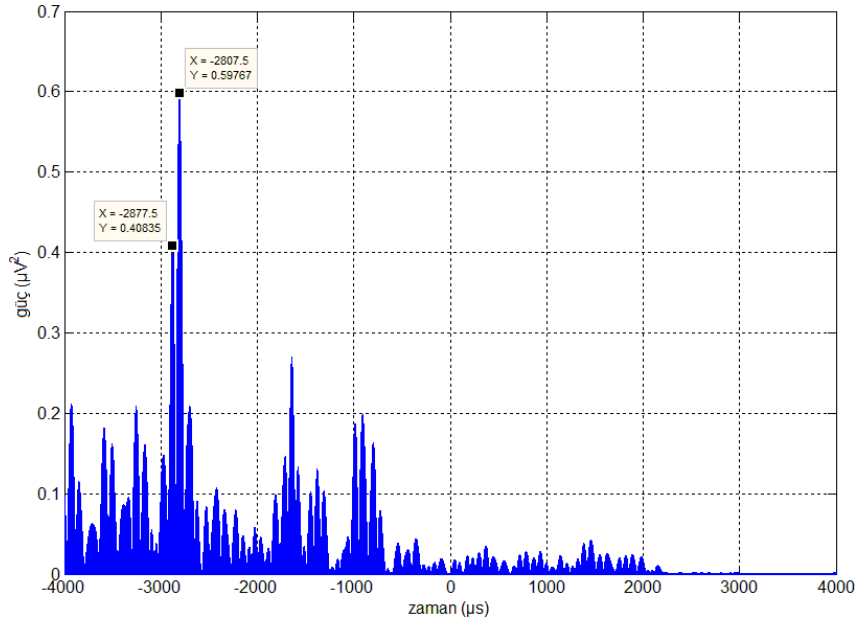
$$c = 20.05\sqrt{28 + 273.15} = 347.9412 \text{ m/s} \quad (127)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = 617.2 \mu\text{s} \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = -2812.6 \mu\text{s} \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -2244.3 \mu\text{s} \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = -2195.4 \mu\text{s} \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = -1627.1 \mu\text{s} \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = 568.3 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (128)$$

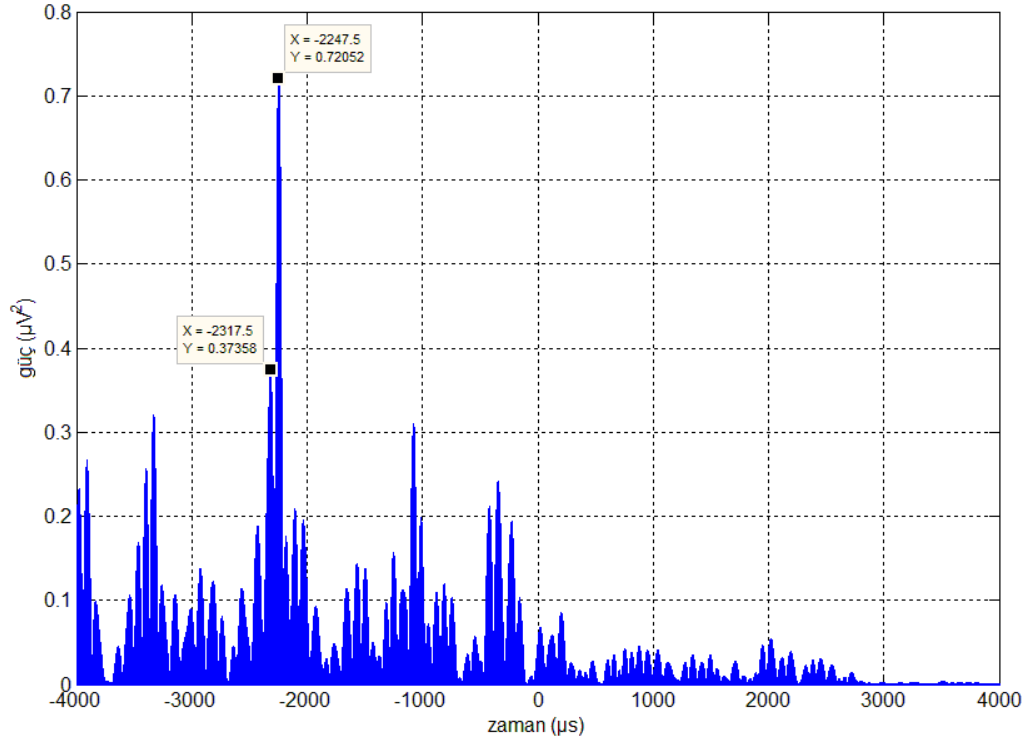
Şekil 53 – Şekil 59’da mikrofonlardan alınan işaretlerin çapraz ilinti fonksiyonları verilmiştir. Hedef ilk duruma göre daha uzakta olduğu için yansımaların etkisi artmıştır. Ancak kestirilen zaman farkları beklenen VZF’lere oldukça yakın çıkmıştır.



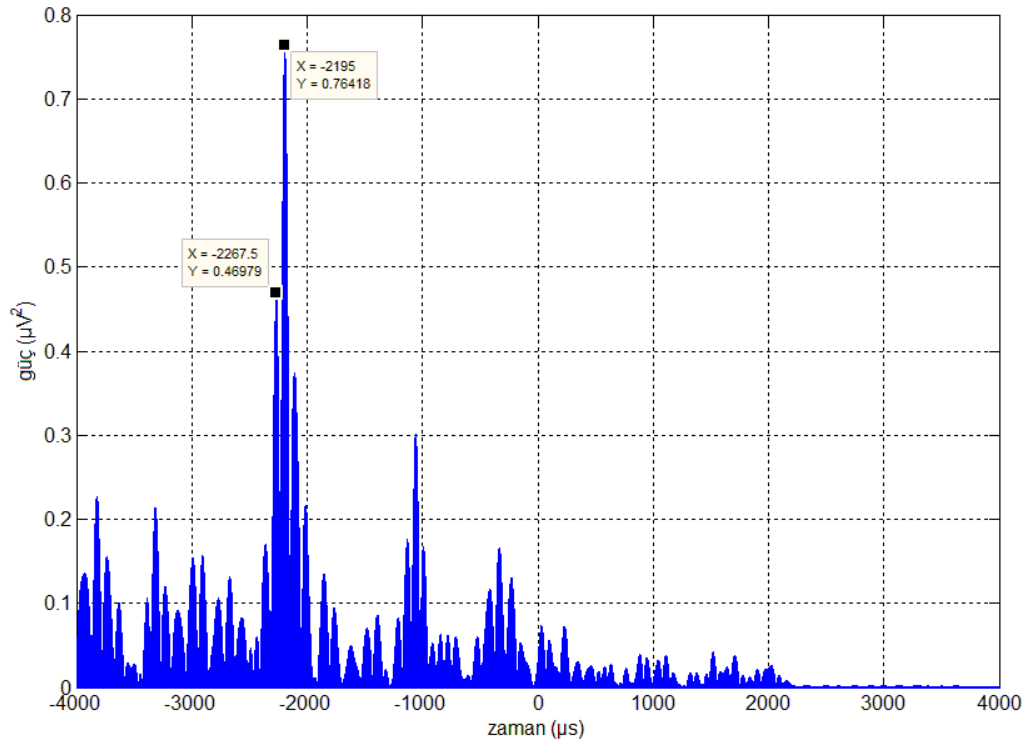
Şekil 53. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



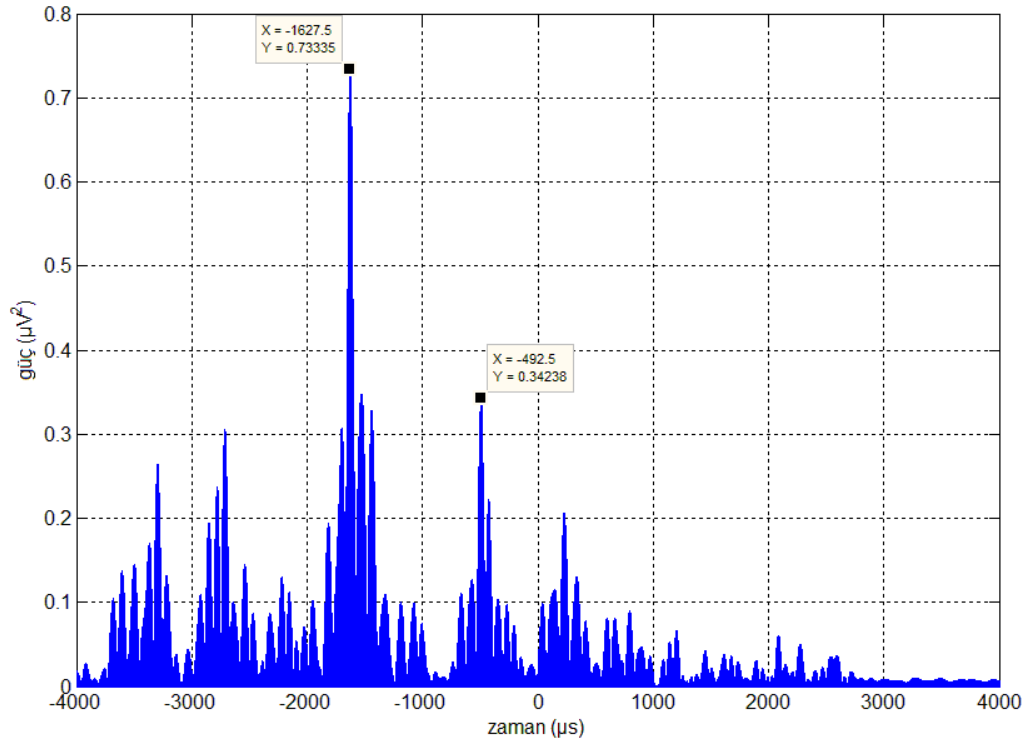
Şekil 54. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



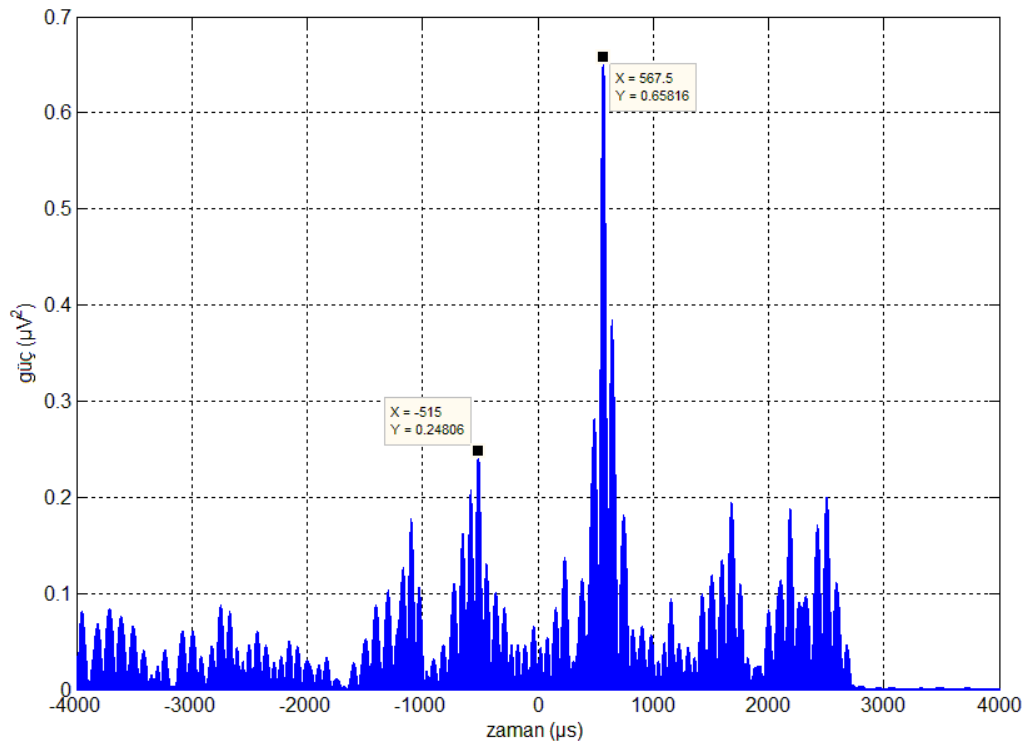
Şekil 55. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 56. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı

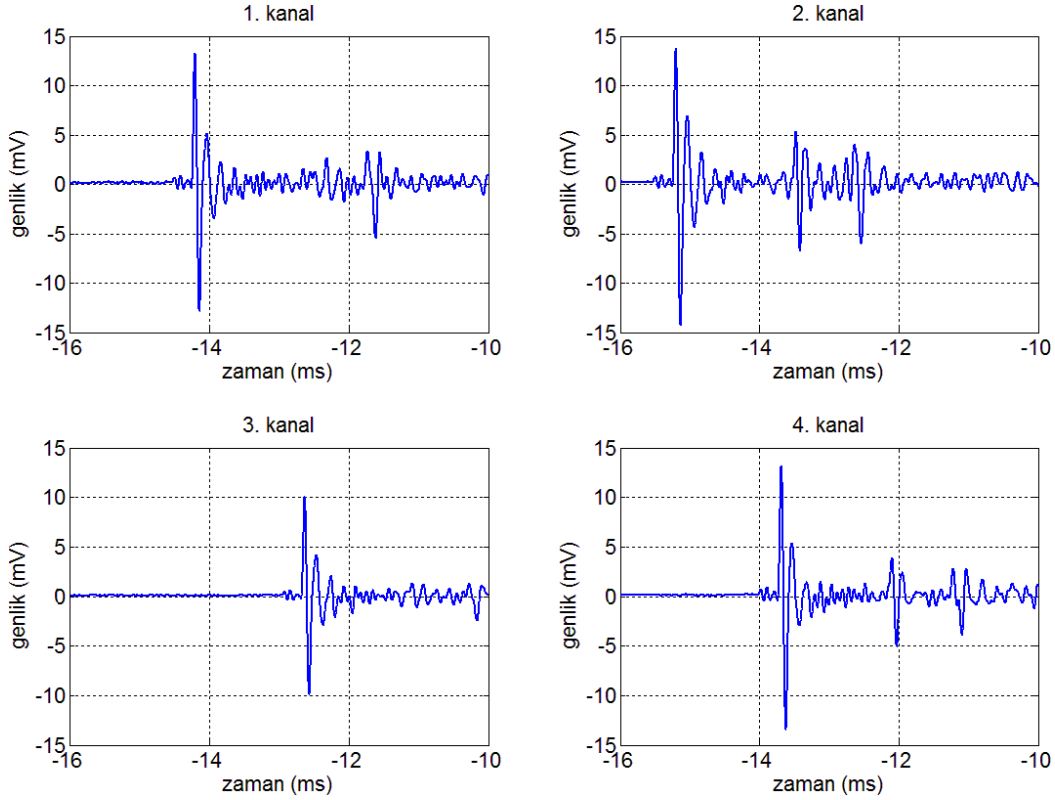


Şekil 57. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 58. Birinci geometri ve ikinci hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

Tablo 11’de verilen ikinci mikrofon dizisi ile üçüncü hedef noktasından alınan patlama işaretleri Şekil 59’da görülmektedir. Kaynaktan yayılan akustik sinyal sırasıyla ikinci, birinci, dördüncü ve üçüncü alıcıya ulaşmıştır. Ölçümler 27 °C’de alınmış olup hesaplanan ses hızı (129)’da ve beklenen VZF’ler (130)’da verilmiştir.

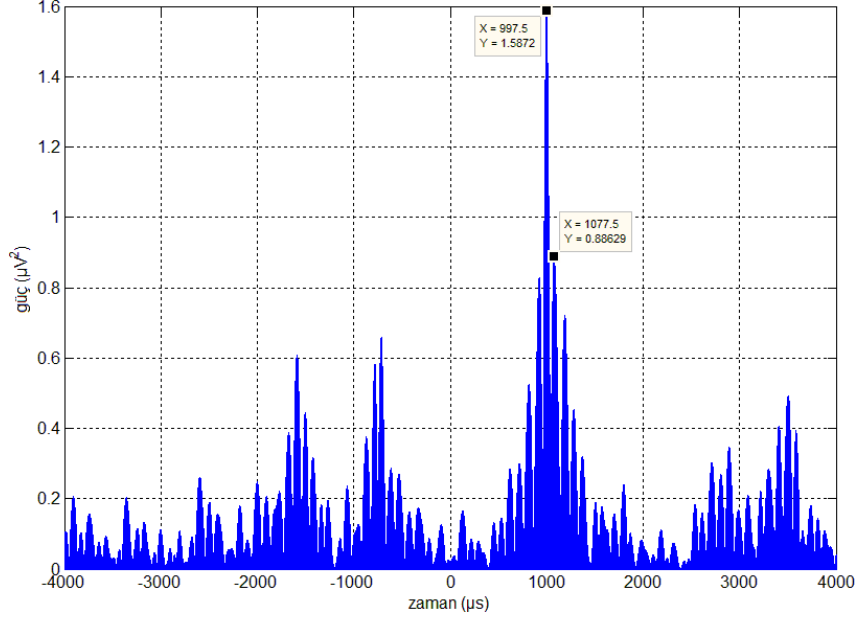


Şekil 59. İkinci alıcı dizisi ile üçüncü hedef koordinatlarından alınan akustik işaretler

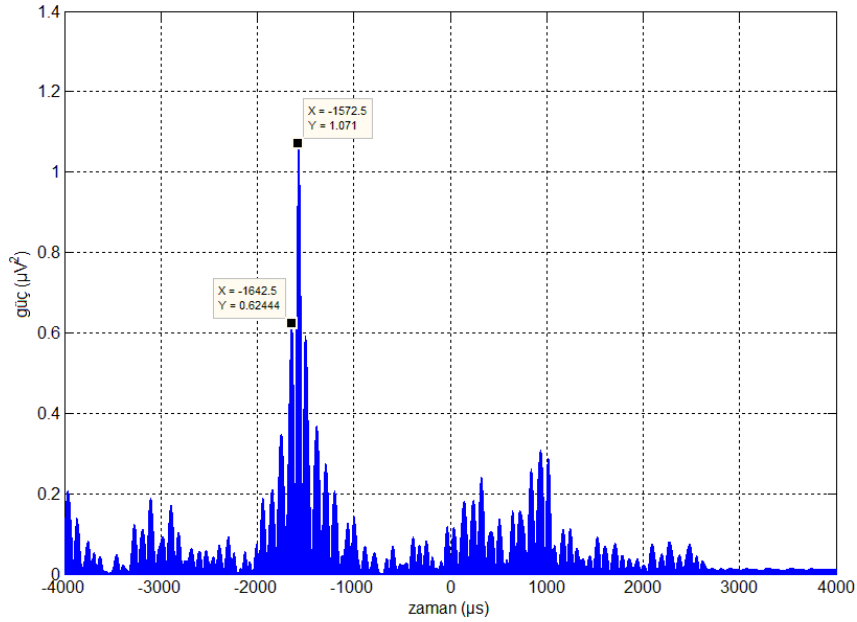
$$c = 20.05\sqrt{27 + 273.15} = 347.3630 \text{ m/s} \quad (129)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = 999.1 \mu\text{s} \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = -1569.8 \mu\text{s} \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -518.9 \mu\text{s} \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = -2568.9 \mu\text{s} \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = -1518.0 \mu\text{s} \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = 1050.9 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (130)$$

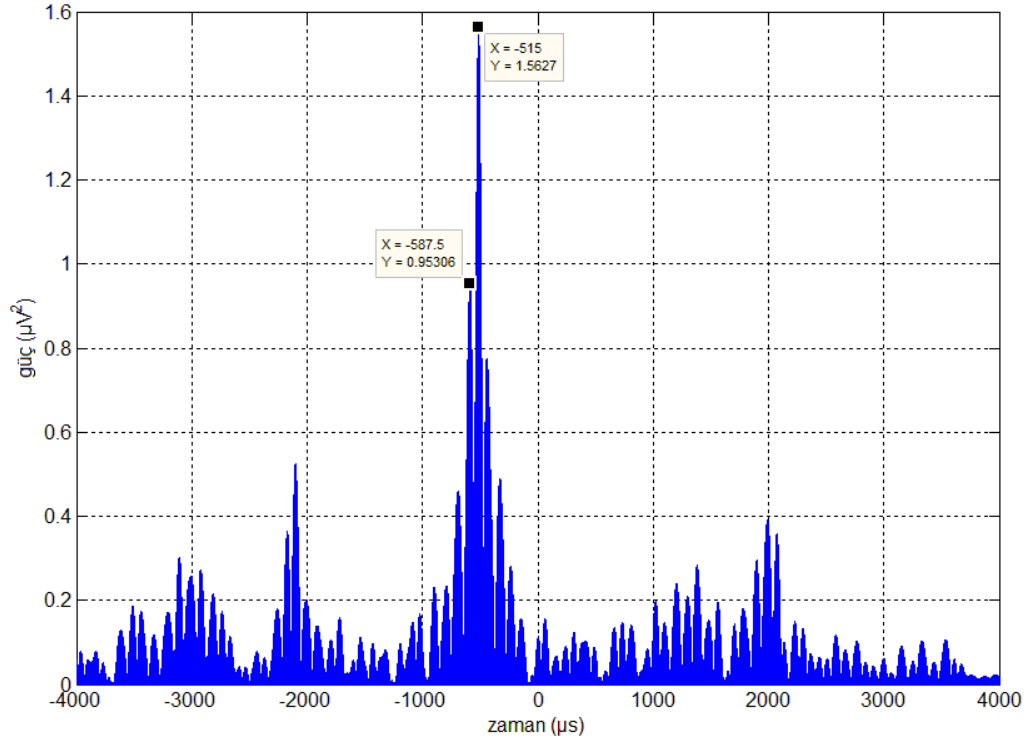
Dört mikrofondan alınan akustik sinyallerin çapraz ilinti fonksiyonları Şekil 60 – Şekil 65’de görülmektedir. Çapraz ilinti grafiklerinde yansıyan işaretler belirgin olmakla beraber zaman farkları yüksek doğrulukla kestirilmiştir.



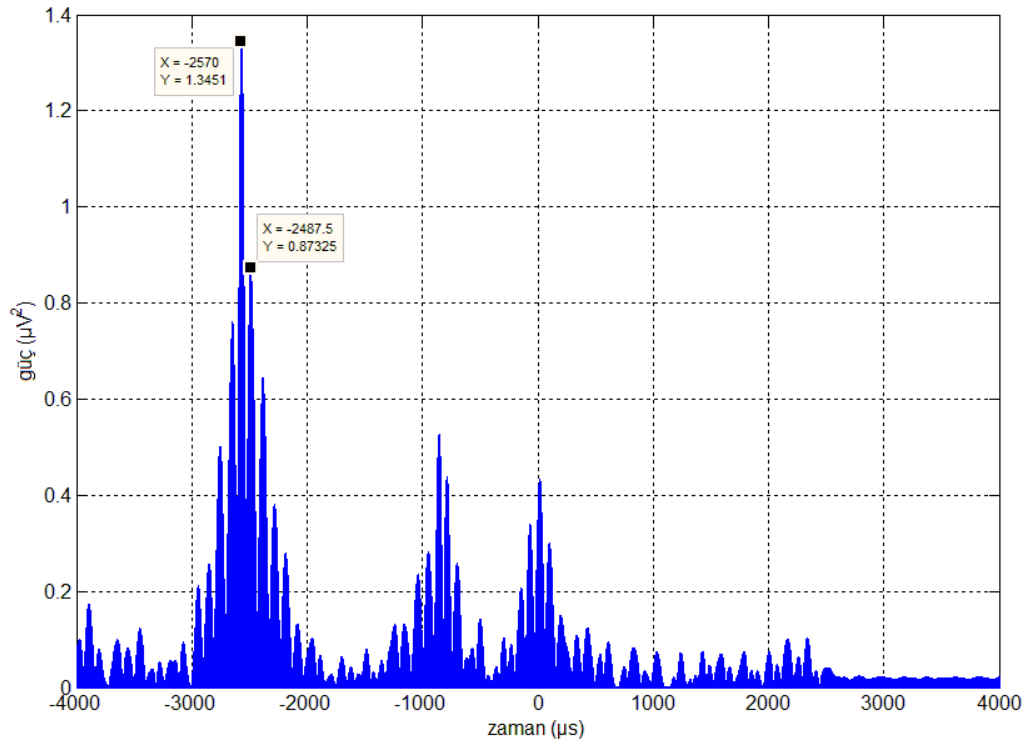
Şekil 60. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



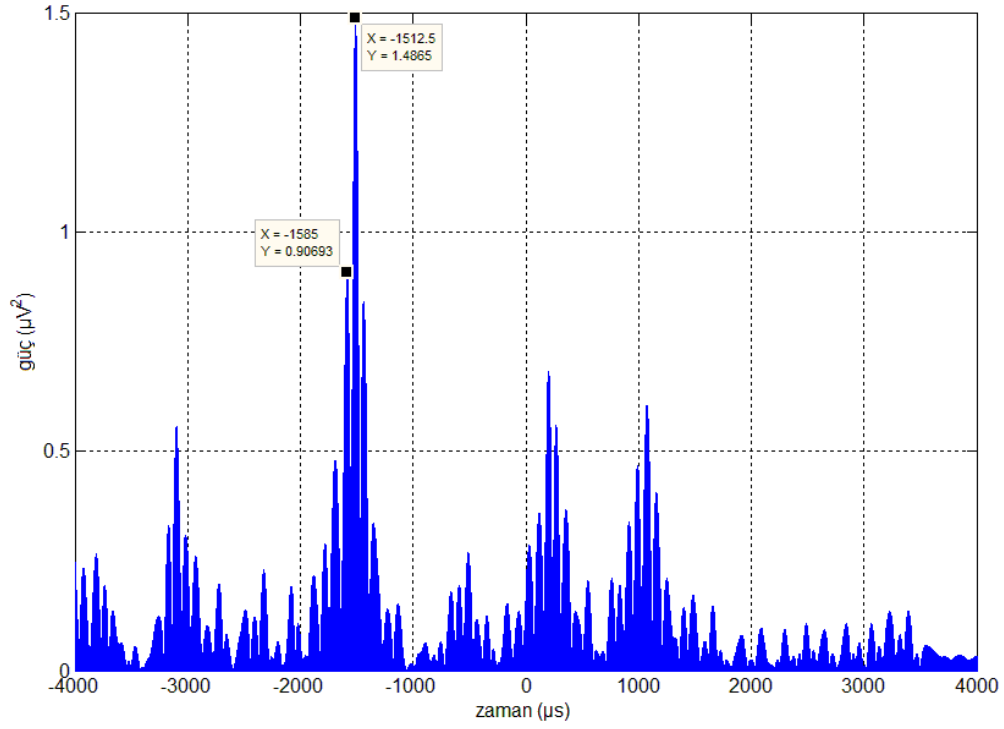
Şekil 61. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



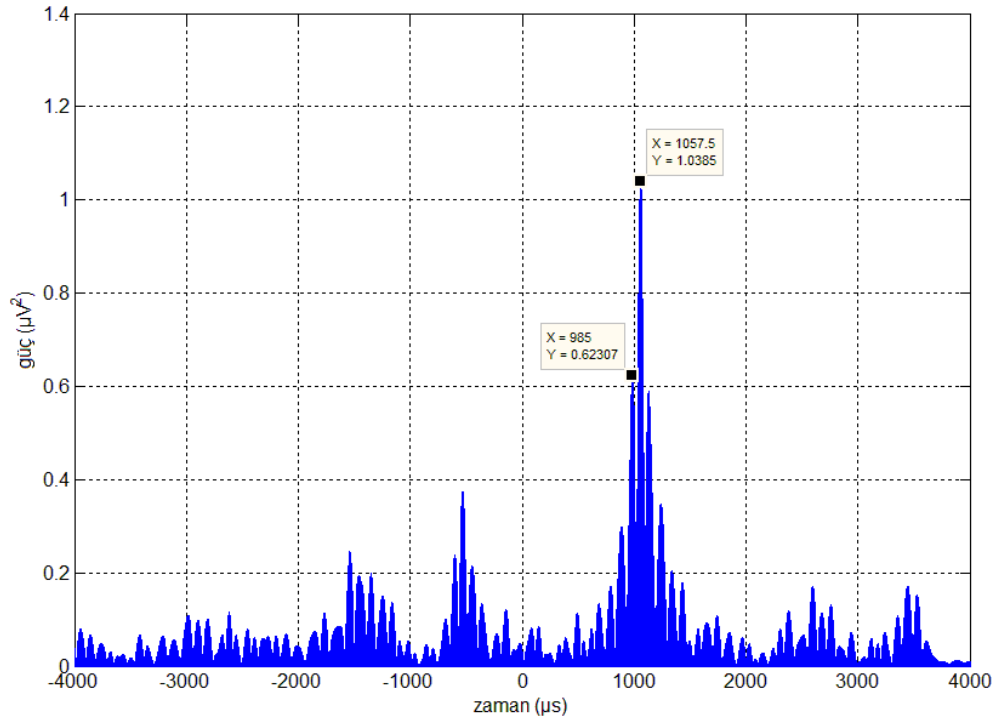
Şekil 62. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 63. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı

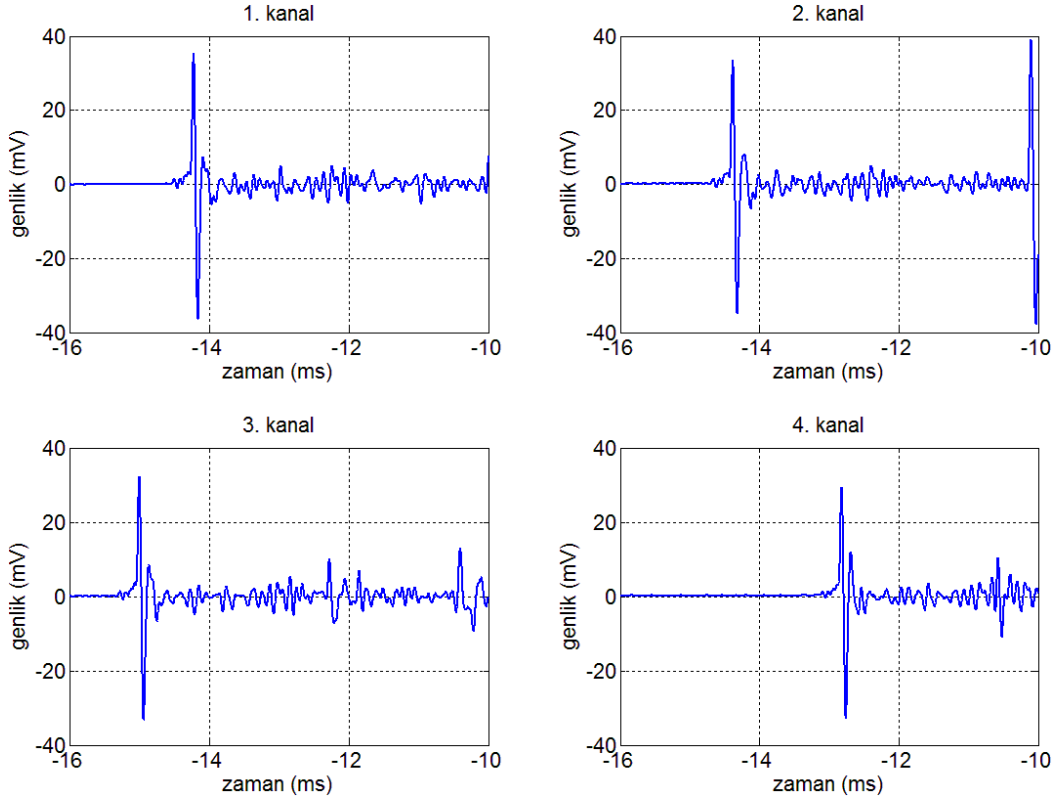


Şekil 64. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 65. İkinci geometri ve üçüncü hedef noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

İkinci alıcı geometrisi ile dördüncü kaynak noktasından alınan akustik işaretler Şekil 66'da görülmektedir. Vericiden yayılan patlama sinyali sırasıyla üçüncü, ikinci, birinci ve dördüncü mikrofona ulaşmıştır. 27 °C ortam sıcaklığında alınan ölçümler için hesaplanan yayılım hızı (131)'de ve beklenen zaman farkları da (132)'de verilmiştir.

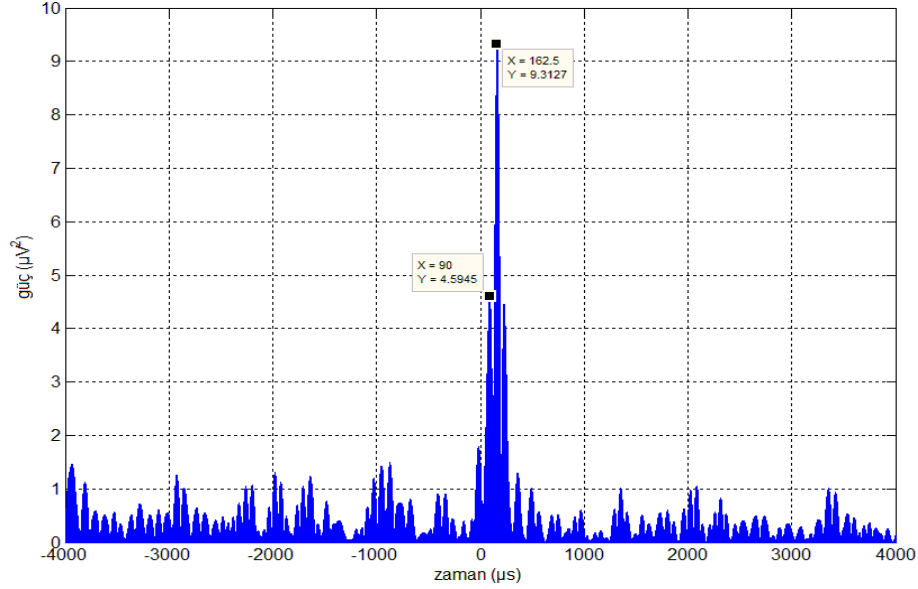


Şekil 66. İkinci alıcı dizisi ile dördüncü hedef koordinatlarından alınan akustik işaretler

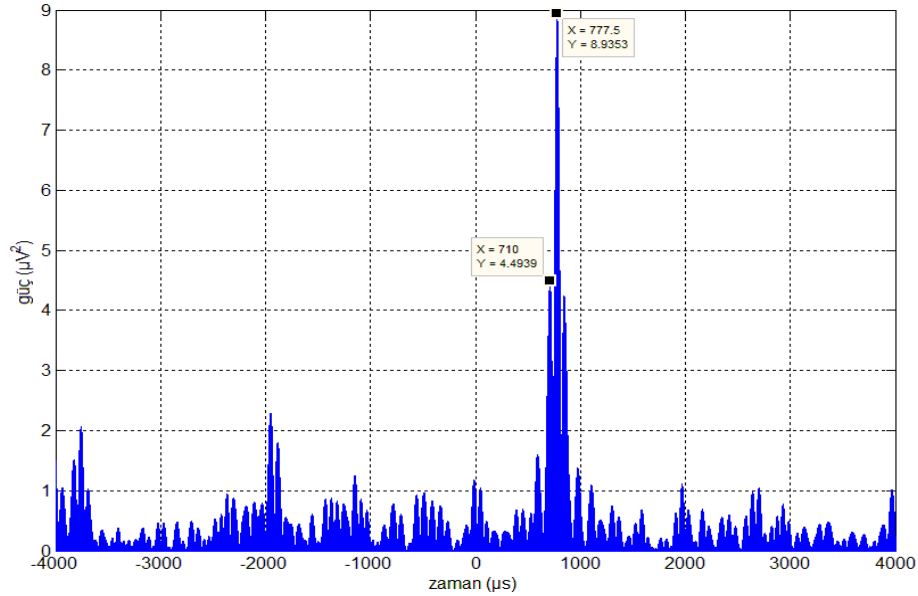
$$c = 20.05\sqrt{27 + 273.15} = 347.3630 \text{ m/s} \quad (131)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = 159.8 \mu\text{s} \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = 772.3 \mu\text{s} \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -1400.6 \mu\text{s} \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = 617.4 \mu\text{s} \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = -1560.5 \mu\text{s} \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = -2177.9 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (132)$$

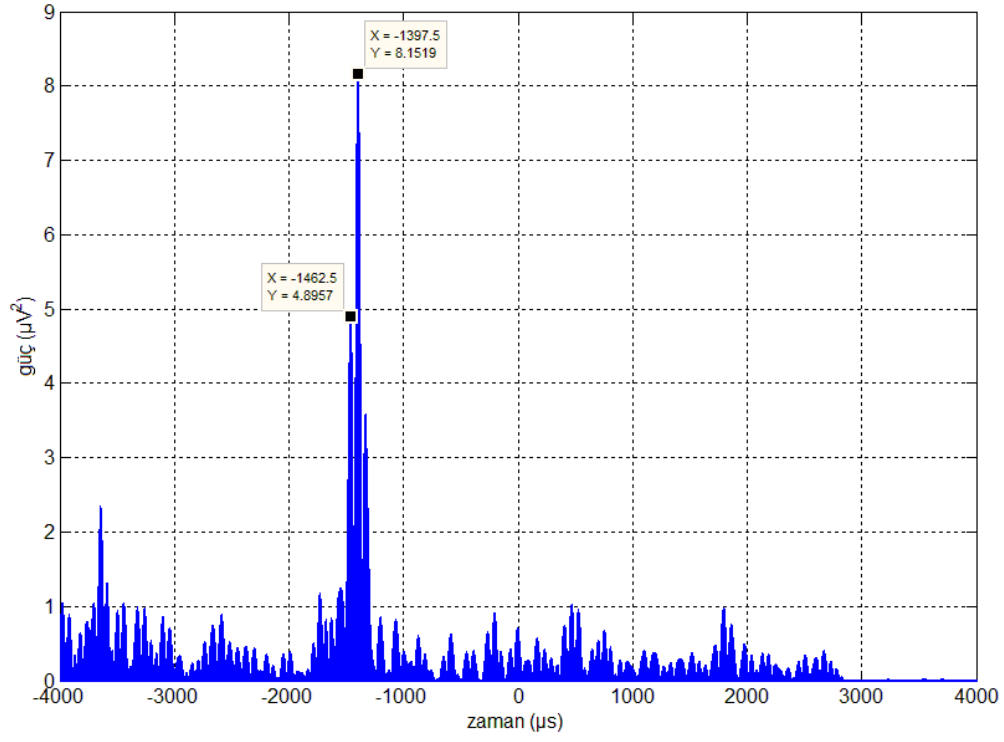
Mikrofon dizisiyle alınan ses işaretlerinin çapraz ilinti fonksiyonları Şekil 67 – Şekil 72’de verilmiştir. Hedef alıcı dizisine nispeten yakın olduğu için doğrudan gelen sinyal güçlü olup yansıyan işaretleri bastırmaktadır. Alınan işaretlerin işaret gürültü oranı (İGO) yüksek olduğu için kestirilen zaman farkları beklenen VZF’lere oldukça yakın çıkmıştır.



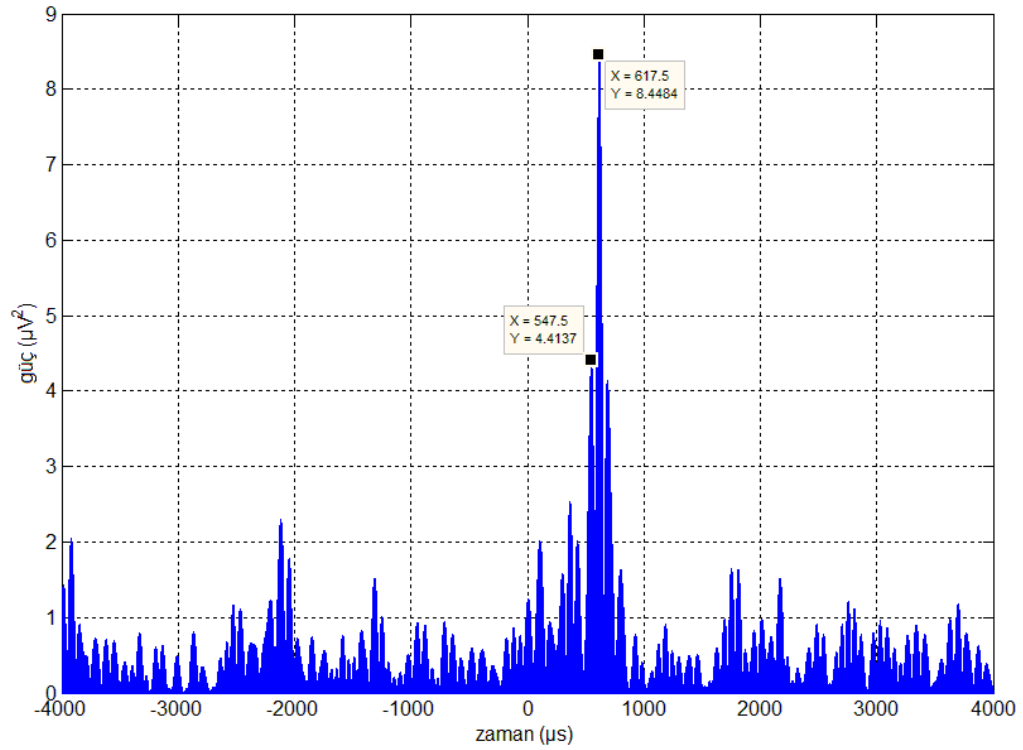
Şekil 67. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



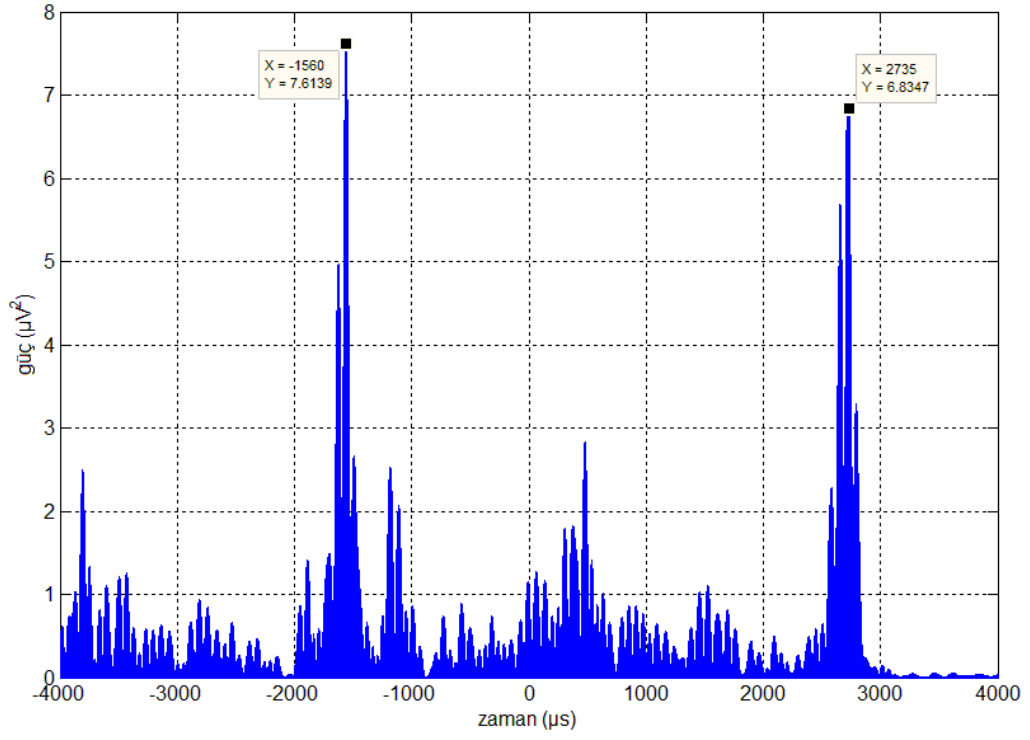
Şekil 68. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



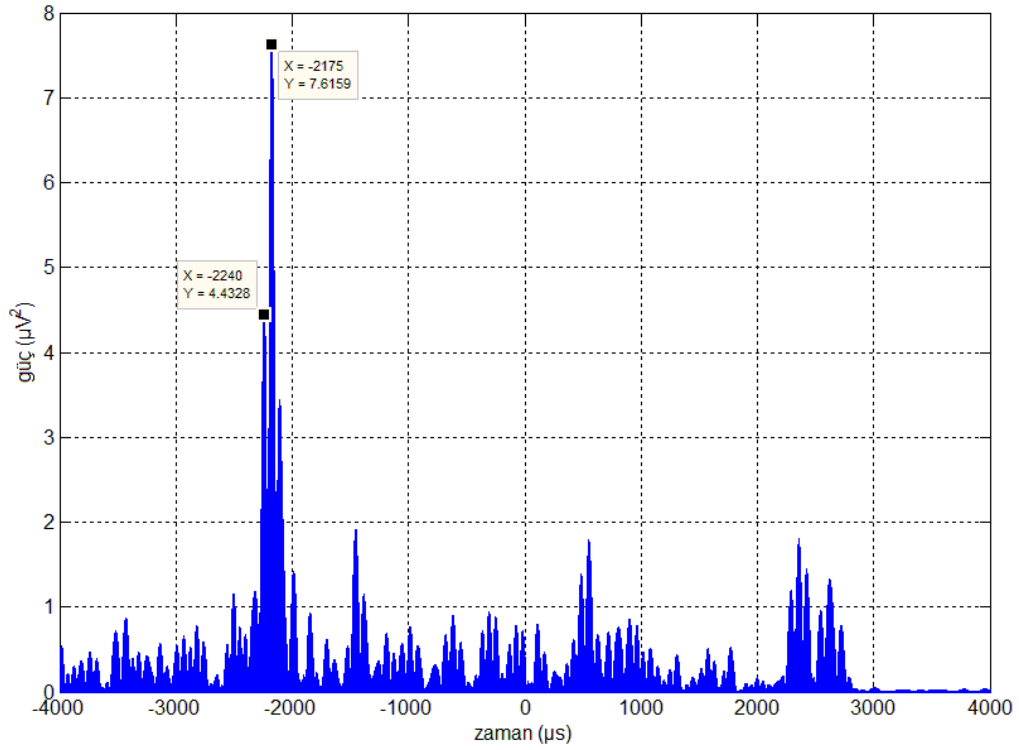
Şekil 69. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 70. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı

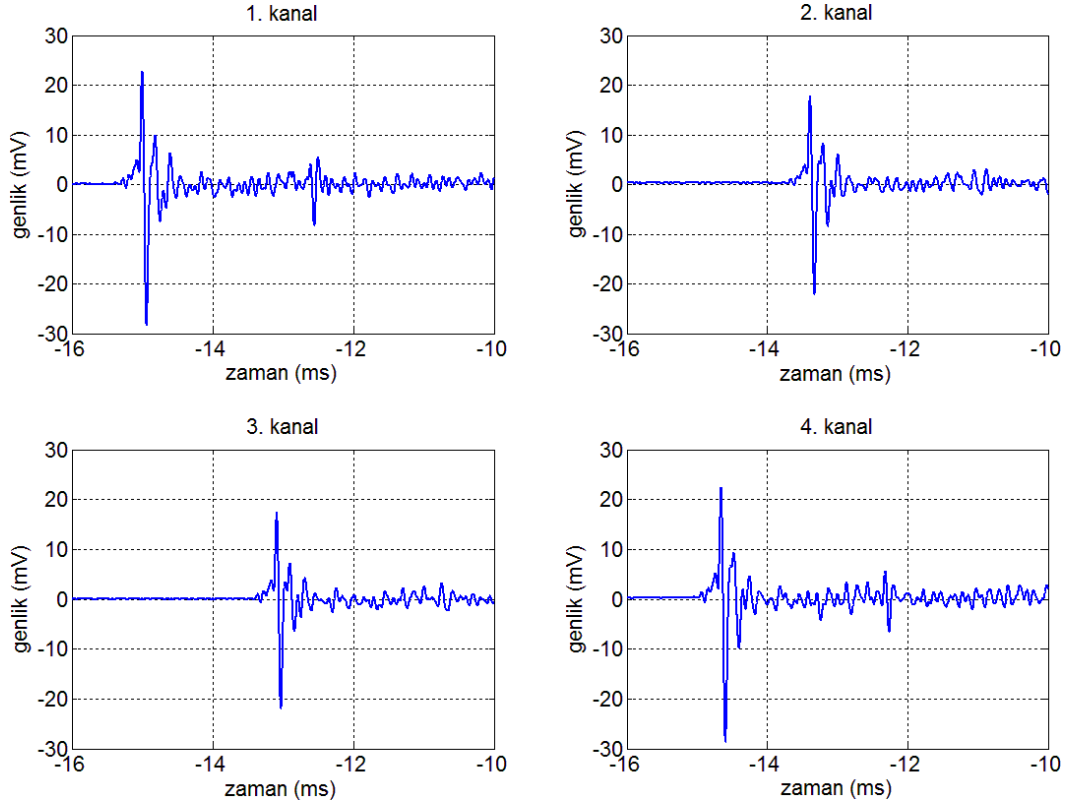


Şekil 71. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 72. İkinci geometri ve dördüncü hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

Tablo 11'deki üçüncü mikrofon dizisi ile beşinci hedef noktasından alınan sinyaller Şekil 73'de görülmektedir. Kaynaktan yayılan akustik işaret önce birinci mikrofona ardından dördüncü, ikinci ve üçüncü alıcıya ulaşmıştır. Test ortamının sıcaklığı 27 °C ölçülmüş olup hesaplanan ses hızı (133)'de ve beklenen VZF'ler de (134)'de verilmiştir.

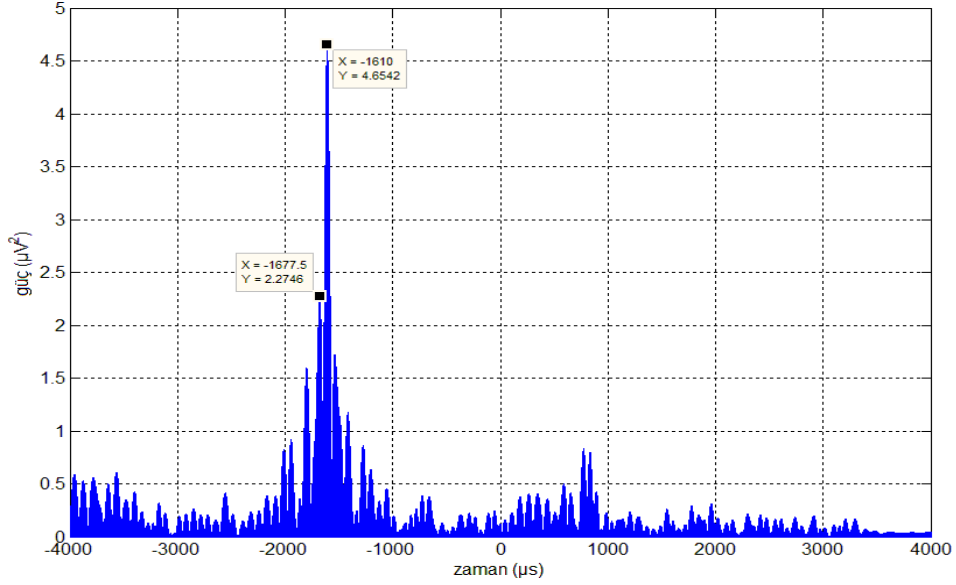


Şekil 73. Üçüncü mikrofon dizisi ile beşinci hedef noktasından alınan patlama sinyalleri

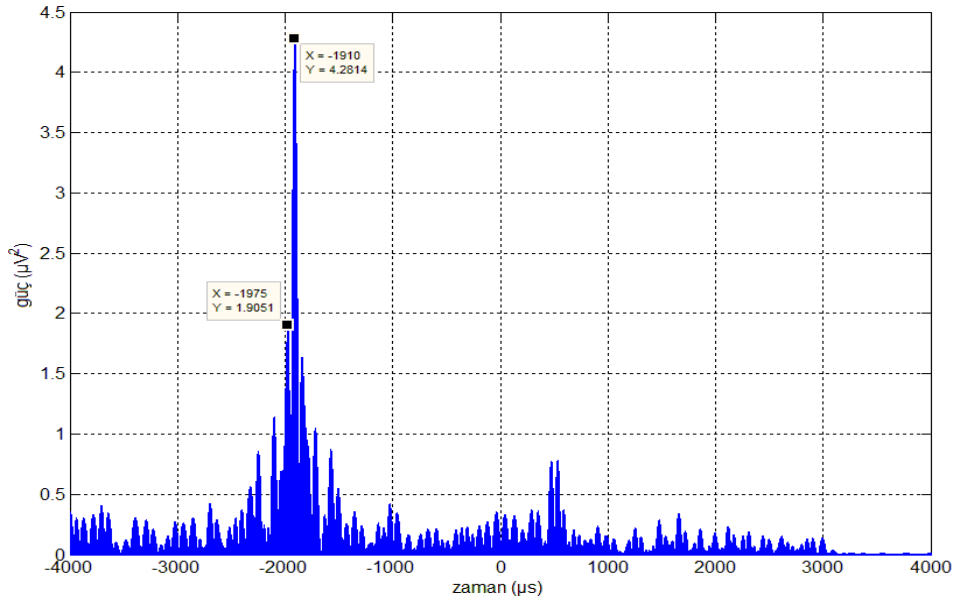
$$c = 20.05\sqrt{27 + 273.15} = 347.3630 \text{ m/s} \quad (133)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = -1613.9 \mu\text{s} \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = -1915.4 \mu\text{s} \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -342.6 \mu\text{s} \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = -301.5 \mu\text{s} \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = 1271.3 \mu\text{s} \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = 1572.8 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (134)$$

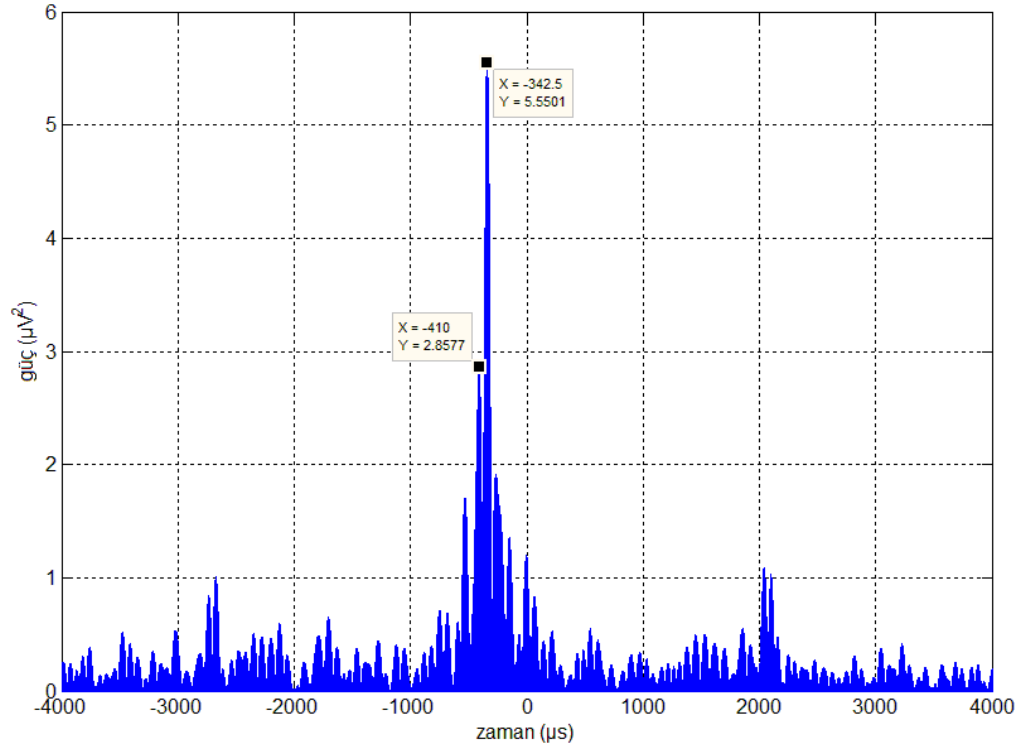
İki boyutlu mikrofon dizisi ile alınan akustik sinyallerin çapraz ilinti fonksiyonları Şekil 74 – Şekil 79’da görülmektedir. Kaynak mikrofon dizisine yakın olduğu için doğrudan gelen sinyal güçlü ve baskındır. Bu nedenle kestirim hatası düşük olup elde edilen zaman farkları beklenen VZF’lerle hemen hemen aynı çıkmıştır.



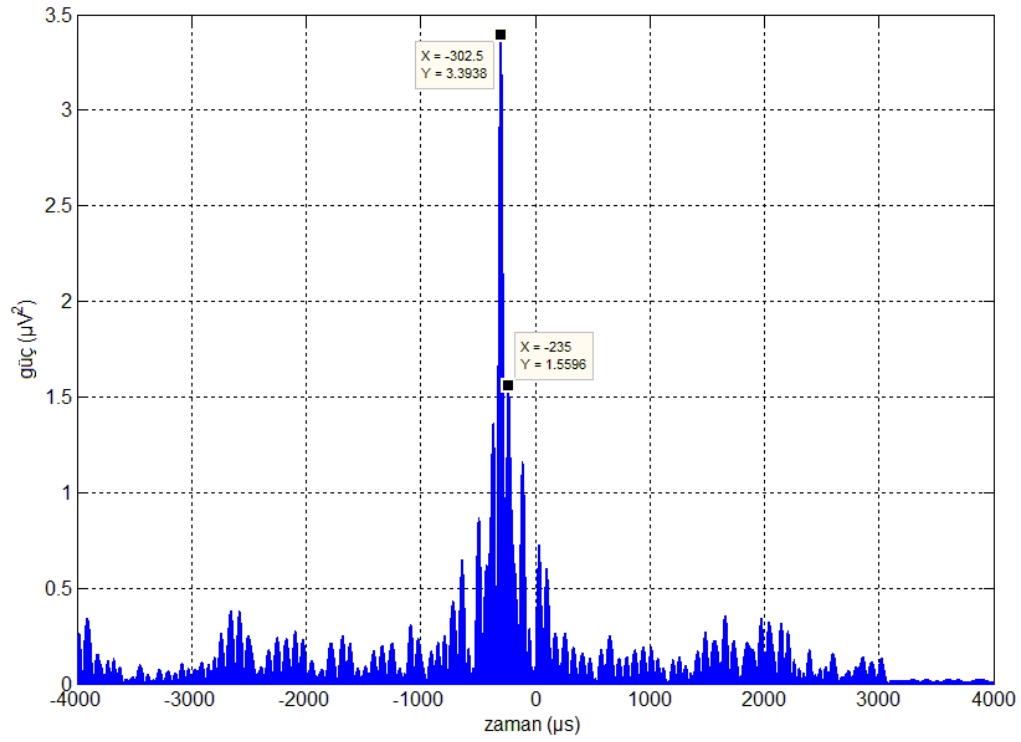
Şekil 74. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



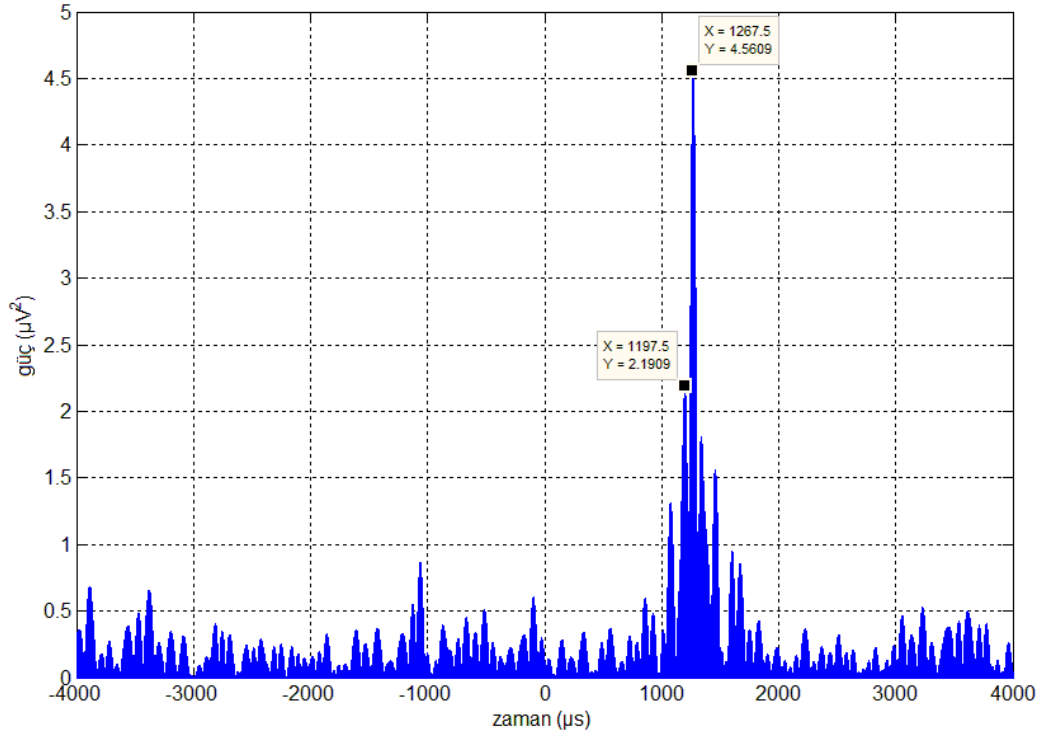
Şekil 75. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



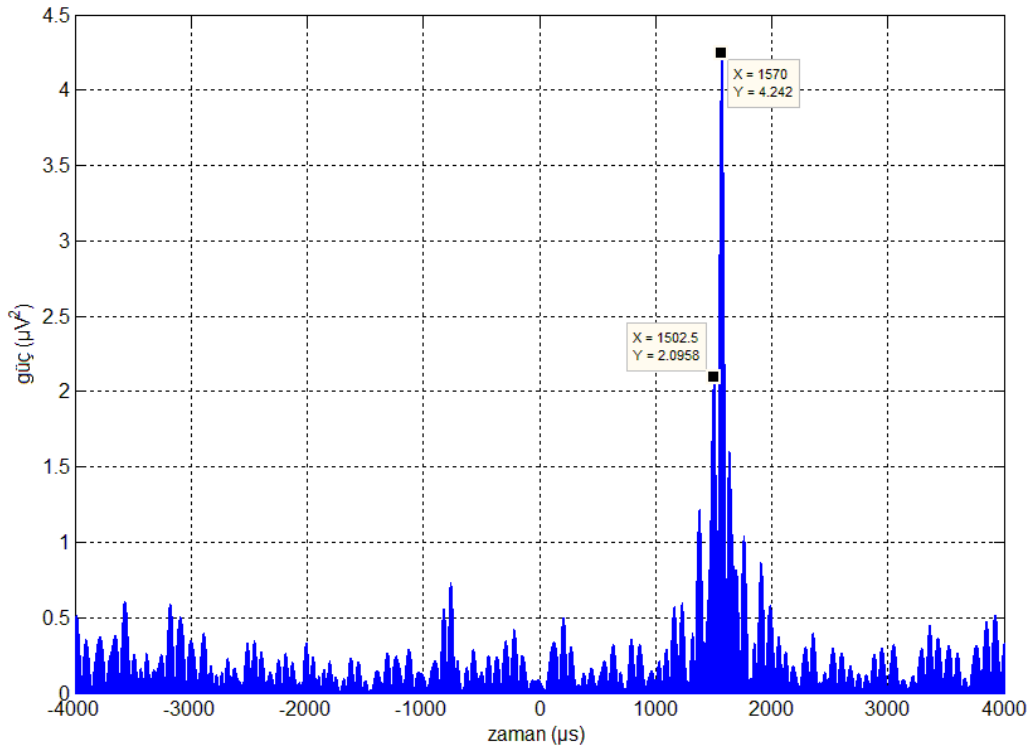
Şekil 76. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 77. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı

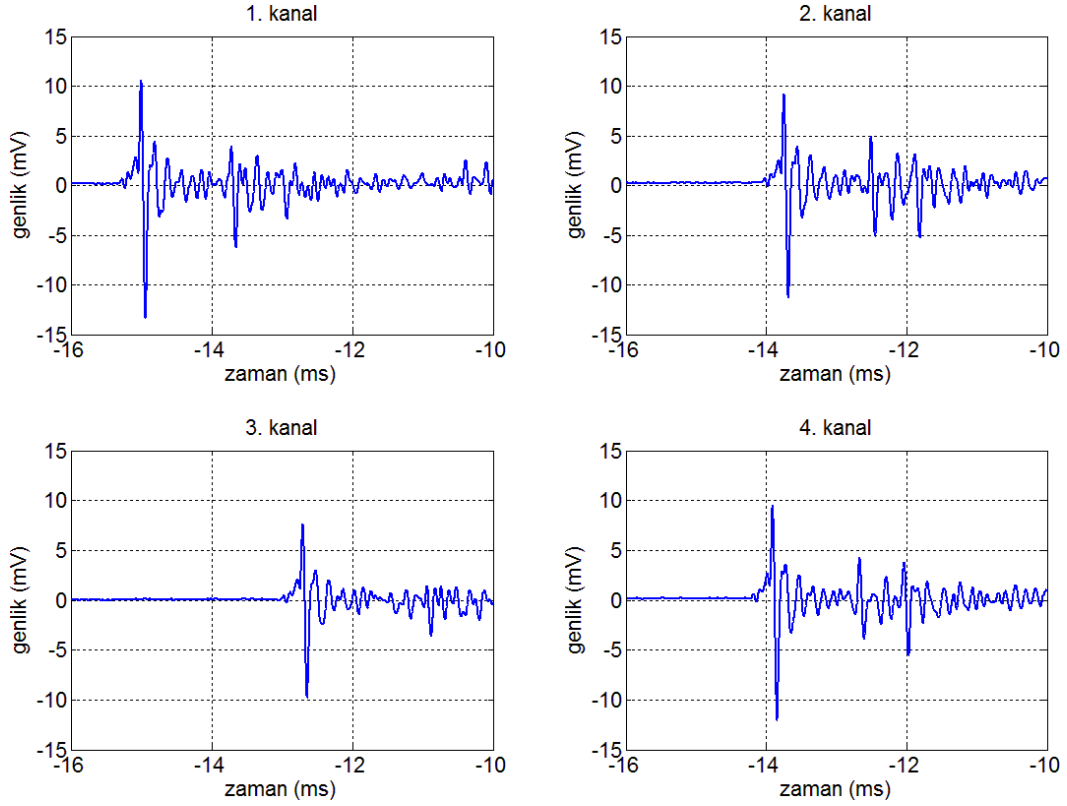


Şekil 78. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 79. Üçüncü geometri ve beşinci kaynak noktası için kestirilen $\widehat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

Üçüncü alıcı dizisi ile altıncı kaynak noktasından alınan sinyaller Şekil 80’de verilmiştir. Hedeften yayılan patlama sinyali sırasıyla birinci, dördüncü, ikinci ve üçüncü mikrofona ulaşmıştır. 27 °C ortam sıcaklığında alınan ölçümler için hesaplanan yayılım hızı (135)’de ve beklenen zaman farkları da (136)’da görülmektedir.

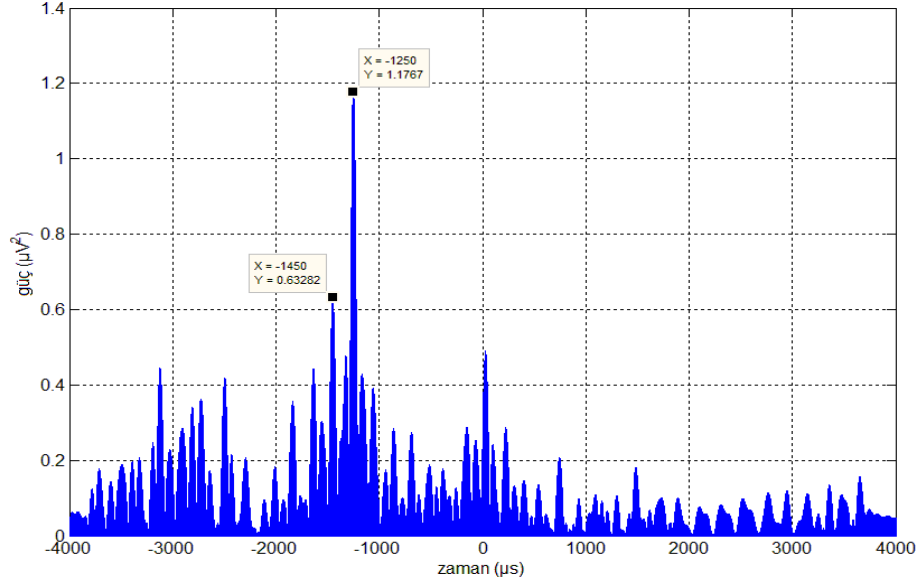


Şekil 80. Üçüncü mikrofon dizisi ile altıncı hedef noktasından alınan patlama sinyalleri

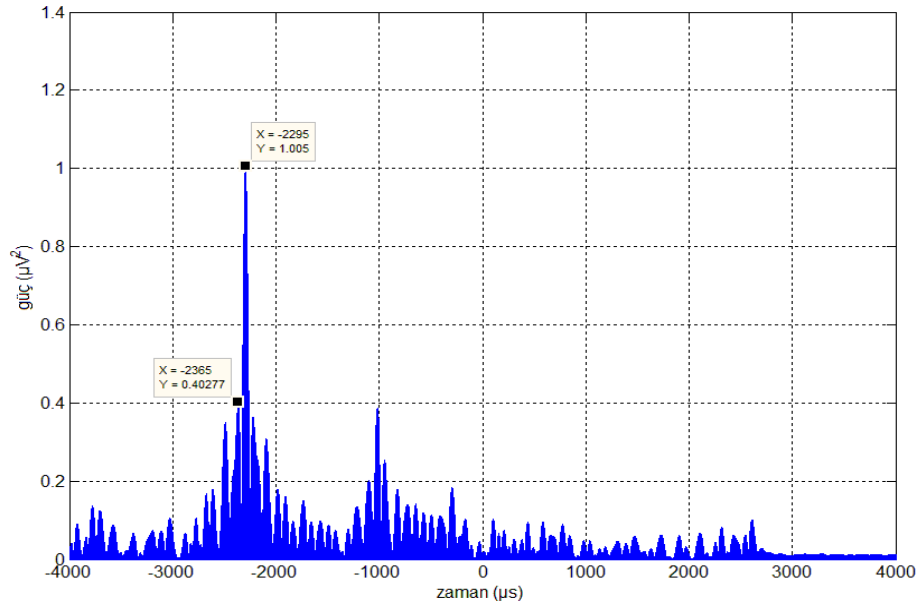
$$c = 20.05\sqrt{27 + 273.15} = 347.3630 \text{ m/s} \quad (135)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{l_1 - l_2}{c} = -1258.2 \mu\text{s} \\ \Delta_{13} &= \frac{l_1 - l_3}{c} = -2297.1 \mu\text{s} \\ \Delta_{14} &= \frac{l_1 - l_4}{c} = -1092.6 \mu\text{s} \\ \Delta_{23} &= \frac{l_2 - l_3}{c} = -1038.8 \mu\text{s} \\ \Delta_{24} &= \frac{l_2 - l_4}{c} = 165.6 \mu\text{s} \\ \Delta_{34} &= \frac{l_3 - l_4}{c} = 1204.5 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (136)$$

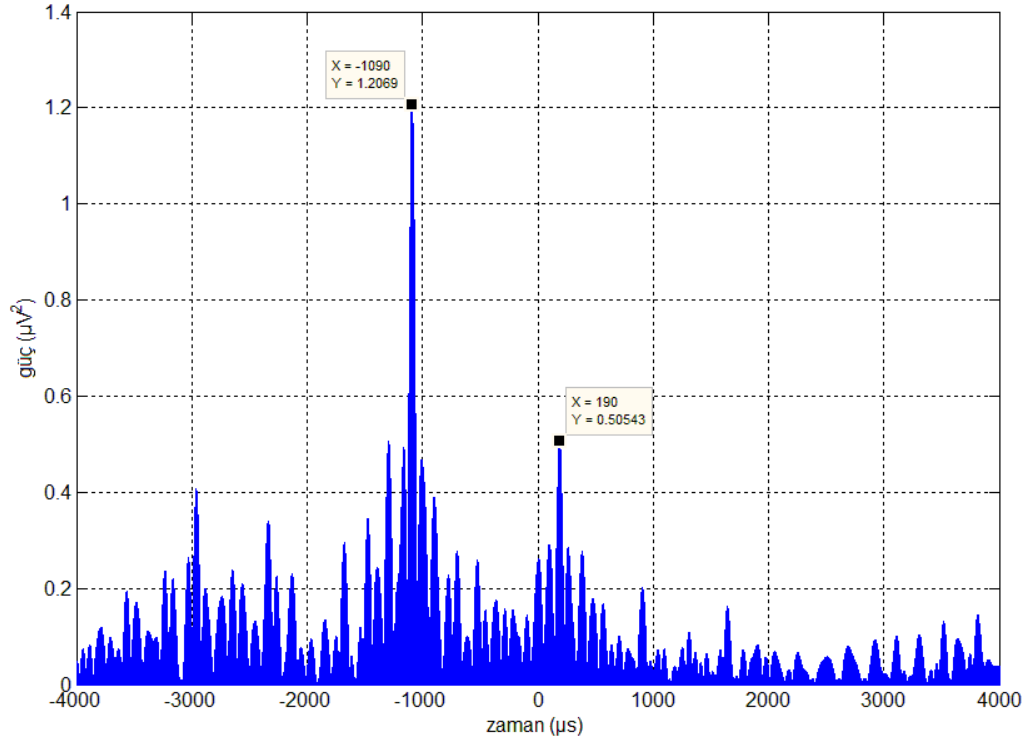
Altıncı hedef noktası için üçüncü alıcı geometrisi ile kaydedilen patlama seslerinin çapraz ilinti fonksiyonları Şekil 81 – Şekil 86’da görülmektedir. Hedef mikrofon dizisine nispeten uzak olduğu için yansıyan sinyaller belirgin olmakla beraber zaman farkları yüksek doğrulukla kestirilmiştir.



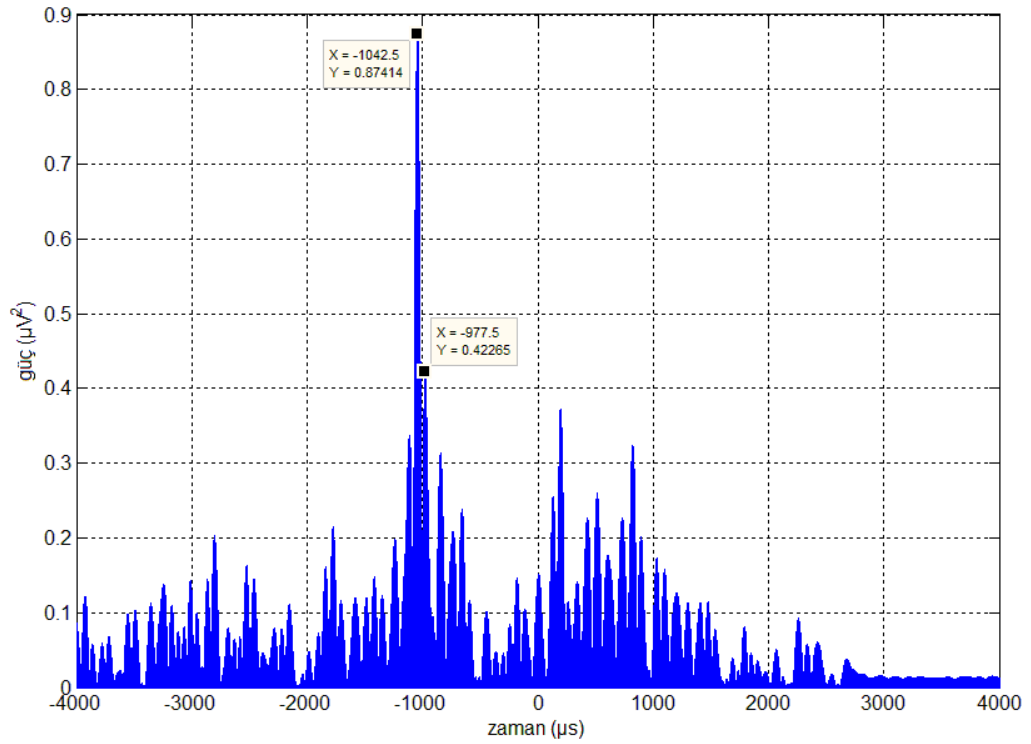
Şekil 81. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{12}$ zaman farkı



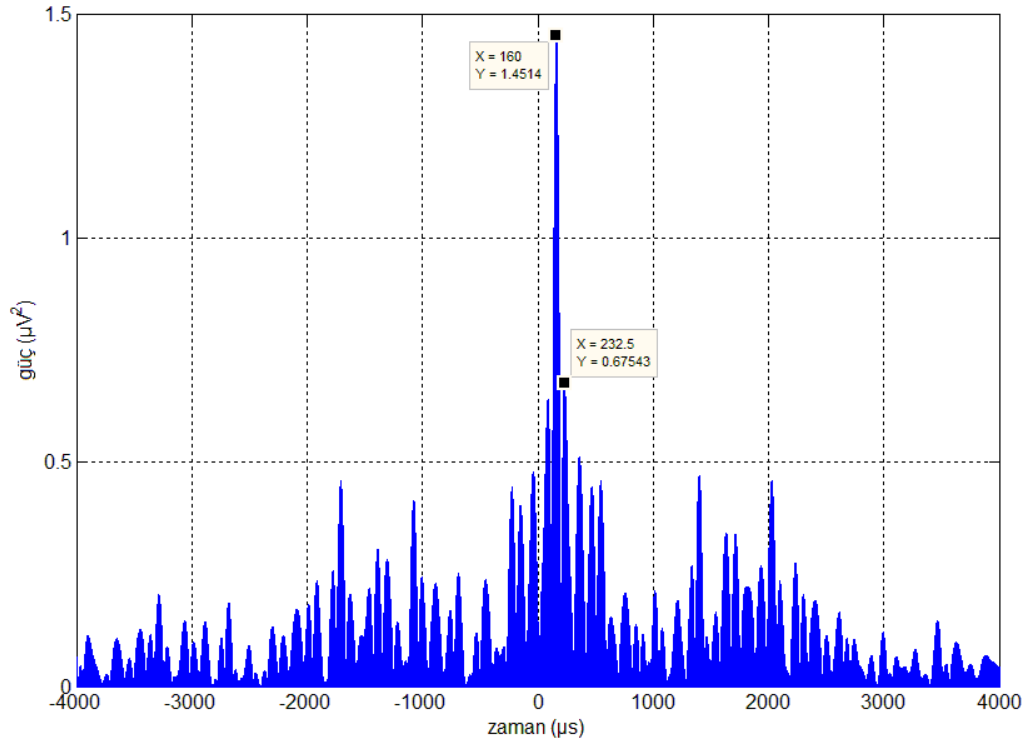
Şekil 82. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{13}$ zaman farkı



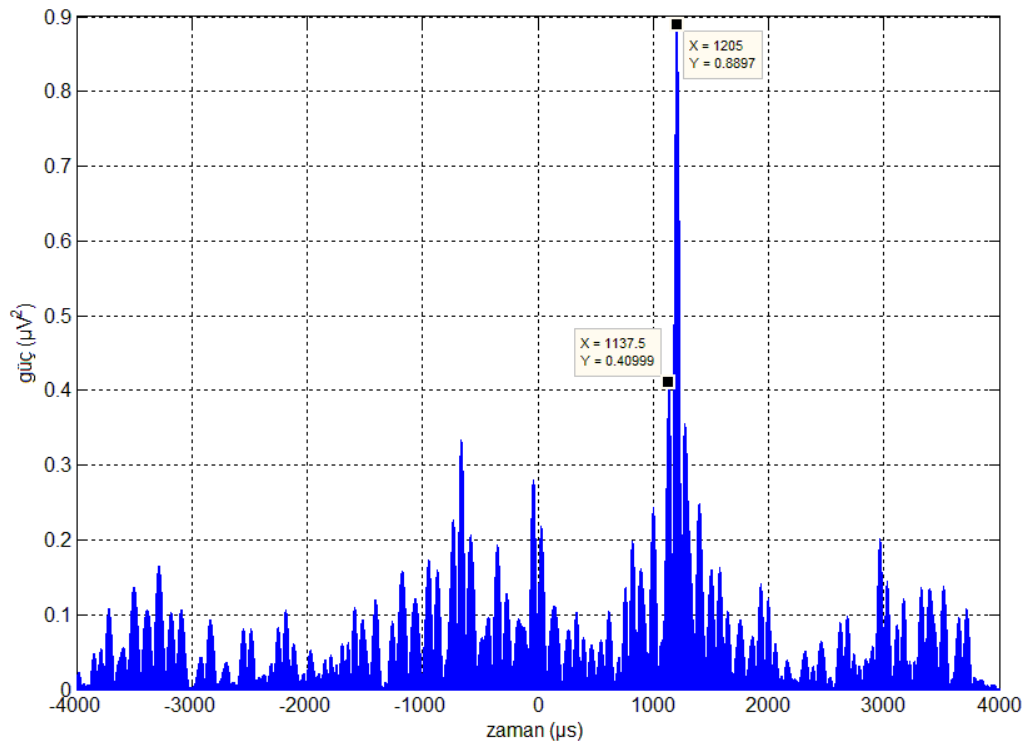
Şekil 83. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{14}$ zaman farkı



Şekil 84. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{23}$ zaman farkı



Şekil 85. Üçüncü alıcı dizisi ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{24}$ zaman farkı



Şekil 86. Üçüncü geometri ve altıncı hedef noktası için kestirilen $\hat{\Delta}_{34}$ zaman farkı

Tablo 11'deki alıcı geometrileri ve hedef noktaları için kestirilen zaman farklarına ait bazı istatistiksel veriler (en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma) Tablo 12'de sunulmuştur. Tablodaki veriler incelendiğinde yapılan akustik ölçümlerin ve zaman farkı kestiriminin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 12. Kestirilen zaman farklarına ait bazı istatistiksel veriler

Geometri	Hedef Noktası	Özellik	Kestirilen Zaman Farkı (μs)					
			$\hat{\Delta}_{12}$	$\hat{\Delta}_{13}$	$\hat{\Delta}_{14}$	$\hat{\Delta}_{23}$	$\hat{\Delta}_{24}$	$\hat{\Delta}_{34}$
1	1	En küçük	-2.0075	-3.1975	-1.3900	-1.1925	0.6150	1.8050
		En büyük	-2.0025	-3.1950	-1.3875	-1.1875	0.6200	1.8100
		Ortalama	-2.0055	-3.1966	-1.3883	-1.1902	0.6177	1.8074
		S. Sapma	1.3410	1.2156	1.1841	0.8938	1.5065	1.3063
	2	En küçük	-0.6100	-2.8125	-2.2500	-2.1975	-1.6375	0.5600
		En büyük	-0.6025	-2.8050	-2.2425	-2.1900	-1.6200	0.5700
		Ortalama	-0.6072	-2.8089	-2.2468	-2.1943	-1.6287	0.5658
		S. Sapma	1.9192	1.8086	2.3802	1.7929	3.6198	2.2436
2	3	En küçük	0.9975	-1.5725	-0.5200	-2.5700	-1.5175	1.0500
		En büyük	1.0000	-1.5700	-0.5150	-2.5675	-1.5100	1.0575
		Ortalama	0.9983	-1.5711	-0.5162	-2.5686	-1.5135	1.0545
		S. Sapma	1.1871	1.2446	1.3032	1.2411	1.6081	1.4099
	4	En küçük	0.1600	0.7750	-1.4000	0.6125	-1.5650	-2.1775
		En büyük	0.1650	0.7800	-1.3950	0.6200	-1.5550	-2.1725
		Ortalama	0.1618	0.7775	-1.3978	0.6165	-1.5597	-2.1745
		S. Sapma	1.3246	0.9537	1.1389	1.6495	2.0330	1.5336
3	5	En küçük	-1.6125	-1.9175	-0.3475	-0.3075	1.2625	1.5700
		En büyük	-1.6100	-1.9100	-0.3400	-0.3000	1.2700	1.5725
		Ortalama	-1.6103	-1.9110	-0.3408	-0.3009	1.2689	1.5704
		S. Sapma	0.8308	1.3679	1.3316	1.3455	1.4233	0.9504
	6	En küçük	-1.2550	-2.3000	-1.0950	-1.0475	0.1550	1.2025
		En büyük	-1.2475	-2.2925	-1.0875	-1.0400	0.1625	1.2075
		Ortalama	-1.2518	-2.2969	-1.0906	-1.0437	0.1605	1.2056
		S. Sapma	1.5054	1.2439	1.5183	1.3490	1.6368	1.4874

2.6.4. İki Boyutlu Mikrofon Dizisi ile Konumlandırma

Bu bölümde dört mikrofonlu bir alıcı dizisiyle altı farklı hedef noktasından alınan yüzer ölçüm ile kestirilen zaman farkları kullanılarak, akustik bir kaynağın konumu tespit edilmiştir. Kaynak konumlandırma bu doktora çalışmasında önerilen yöntemlerle yapılmış ve başarımları klasik teknikler ve teorik limit ile karşılaştırılmıştır.

2.6.4.1. VZFO Destekli PSO Algoritmasıyla Akustik Verici Konumlandırma

Bu kısımda alınan akustik ölçümler kullanılarak kestirilen zaman farklarıyla konum tespiti yapılmış ve elde edilen OKH değerleri teorik limite karşılaştırılmıştır. Hedef koordinatları hem küresel hem de tam set için (76) ve (77)'de verilen uygunluk fonksiyonları ile parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) bulunmuştur. Ayrıca kestirilen zaman farkları ortalanmış ve kaynak konumu parçacık sürüsü optimizasyonu (PSOO) yöntemi ile de tespit edilmiştir. Benzer şekilde teorik limit hesabında hem kestirilmiş ve hem de ortalanmış zaman farkları kullanılmıştır. PSO ile konumlandırmada parçacık sayısı 64, öğrenme faktörleri $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ ve en büyük yinleme sayısı 2500 alınmıştır. Arama bölgesi Şekil 37'de görüldüğü gibi $-6 \text{ m} \leq x \leq 6 \text{ m}$ ve $0 \text{ m} \leq y \leq 15 \text{ m}$ olarak sınırlandırılmış ve parçacıkların test alanının dışına çıkmaları engellenmiştir. OKH değerleri (92) numaralı eşitlik ile hesaplanmış ve Tablo 13'de sunulmuştur.

Tablo 13. VZFO destekli PSO algoritmalarıyla elde edilen ortalama karesel hata değerleri

Geometri	Hedef Noktası	Ortalama Karesel Hata (m ²)					
		Bağımsız VZF Seti		CRAS	Tam VZF Seti		CRASO
		PSO	PSOO		PSO	PSOO	
1	1	0.0025	0.0021	0.0015	0.0011	0.0011	0.0010
	2	0.4450	0.2658	0.3442	0.1554	0.1096	0.1599
2	3	0.0440	0.0425	0.0416	0.0422	0.0432	0.0415
	4	0.0035	0.0029	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011
3	5	0.0568	0.0552	0.0203	0.0156	0.0144	0.0079
	6	2.2086	1.9518	1.4059	1.8620	1.8499	1.3794

Tablo 13’de verilen karesel hata ve teorik eşik değerlerini üç başlık altında irdeleyelim.

Ortalama yönteminin teorik limite etkisi: Kestirilen zaman farkları ortalandıktan sonra kestirim hatası azalmakta ve konumlandırma doğruluğu artmaktadır. Ortalama işlemi ile tüm hedef noktaları için teorik limit (CRASO) daha da aşağı çekilmiştir.

Ortalama işleminin PSO tabanlı yöntemlere etkisi: Tüm hedef noktalarında bağımsız VZF seti ile konumlandırma yapan PSO algoritması Cramer-Rao alt sınırını (CRAS) ve PSOO yönteminin de Cramer-Rao alt sınırını ortalanmış (CRASO) sınırını aşamamıştır. Bu durum ölçüm verileri ile yapılan konum tespitinin ve teorik limit hesabının doğru olduğunu göstermektedir. Ayrıca üçüncü hedef noktası dışındaki tüm test noktalarında VZFO yönteminin karesel hatayı azalttığı görülmektedir.

VZF setlerinin konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkisi: PSO algoritması ile konum tespitinde zaman farkı sayısı arttıkça konumlandırma hatası azalmaktadır. Üçüncü hedef noktası dışındaki tüm test noktalarında tam VZF seti kullanıldığında hata azalmıştır.

2.6.4.2. VZFO Destekli Doğrusal Yöntemlerle Verici Konumu Tespiti

Bu kısımda altı hedef noktası için alınan ses örnekleri kullanılarak, doğrusal yöntemlerle konumlandırma yapılmıştır. Kaynak koordinatları hem kestirilmiş hem de ortalanmış zaman farkları kullanılarak bulunmuştur. Konum tespiti (37) – (42) numaralı ifadelerle doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve doğrusal en küçük kareler ortalanmış DEKKO yöntemleriyle ve (43) – (48) numaralı ifadeler kullanılarak da ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler ortalanmış (ADEKKO) teknikleriyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 14. VZFO destekli klasik yöntemlerle elde edilen ortalama karesel hata değerleri

Geometri	Hedef Noktası	Ortalama Karesel Hata (m ²)					
		DEKK	ADEKK	CRAS	DEKKO	ADEKKO	CRASO
1	1	0.0019	0.0019	0.0015	0.0012	0.0012	0.0010
	2	0.9514	0.9514	0.3442	0.1902	0.1902	0.1599
2	3	0.0435	0.0435	0.0416	0.0419	0.0419	0.0415
	4	0.0058	0.0058	0.0013	0.0053	0.0053	0.0011
3	5	0.0260	0.0260	0.0203	0.0171	0.0171	0.0079
	6	2.5858	2.5858	1.4059	1.9327	1.9327	1.3794

Tablo 14’de verilen ve doğrusal konumlandırma yöntemlerinin başarımının gösteren OKH değerlerini üç başlık altında irdeleyelim:

Ağırlıklandırma işleminin konumlandırma doğruluğuna etkisi: Tüm hedef noktaları için ağırlıklandırma işlemi OKH değerlerini azaltmamıştır. Bu durum Tablo 6 ve Tablo 7’de de verildiği gibi dört alıcı için ağırlıklandırma matrisi kullanımının konumlandırma doğruluğunu arttırmamasından kaynaklanmaktadır. Yöntem beş ve daha fazla sayıda alıcı için başarımlarını artırmaktadır.

Ortalama işleminin doğrusal yöntemlere etkisi: Tüm test noktaları için VZFO yöntemi doğrusal konumlandırma algoritmaları ile birlikte kullanılarak, belirgin bir başarımların artışı sağlamıştır.

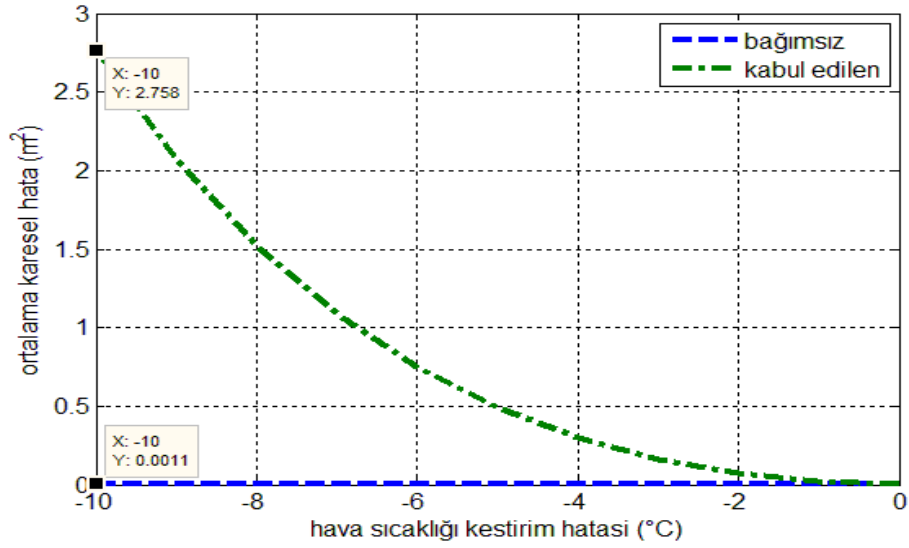
Başarımların tutarlılığı: Tüm kaynak noktaları için DEKK ve ADEKKO yöntemleri CRAS sınırını ve DEKKO ve ADEKKO teknikleri de CRASO limitini geçmemiştir. Bu sonuç akustik ölçüm verileri ile yapılan konum tespiti ve limit hesabının işlemlerinin doğru olduğunu göstermektedir.

2.6.4.3. PSO ile Ses Hızından Bağımsız Kaynak Konumlandırma

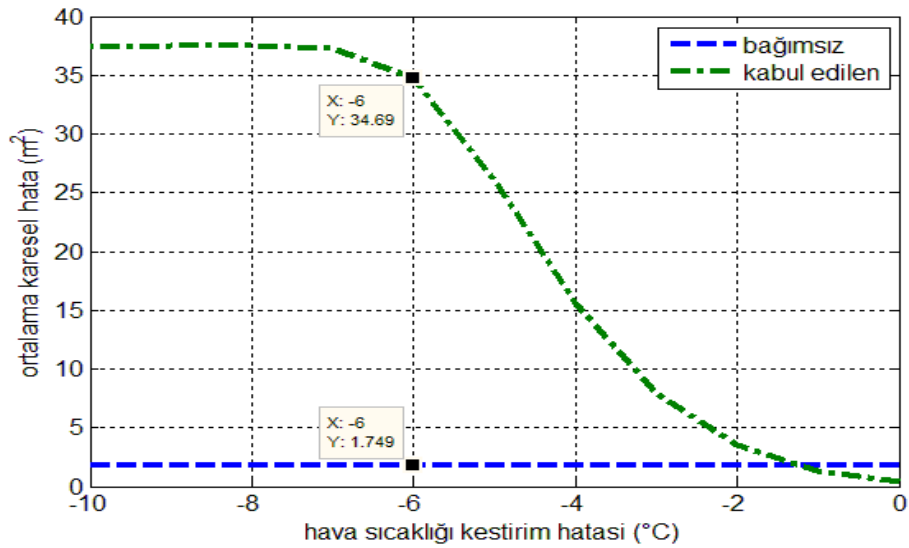
Akustik bir kaynaktan yayılan sinyalin hızı ortamın yoğunluğuna ve elastikiyetine bağlı olarak değişmektedir. Bu kısımda dört mikrofonla alınan ses ölçümleri ile hedef konumu (119) numaralı eşitlik kullanılarak, PSO algoritmasıyla bulunmuştur. Ayrıca verici koordinatları (76) numaralı ifade ile yayılma hızının doğru ve hatalı bilindiği durumlar için tespit edilmiştir. PSO ile kaynak konumlandırma parçacık sayısı 64, öğrenme faktörleri iki, en büyük yineleme sayısı 2500 ve arama bölgesi $-6m \leq x \leq 6m$, $0 \leq y \leq 15$ m olarak belirlenmiştir. Yayılma hızı (124) ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 87 – Şekil 92’de sunulmuştur.

Şekil 87’de birinci hedef noktası için ortam sıcaklığı kestirim hatası -10 °C ile 0 °C arasında değiştirilerek hesaplanan OKH eğrileri görülmektedir. Önerilen yöntem kestirim hatasının tüm değerleri için aynı başarımların göstermiştir. Küresel zaman farkı seti ile konum tespiti yapan geleneksel PSO algoritmasında ise ortam sıcaklığı kestirim hatası arttıkça OKH da artmış ancak her durum için hedef koordinatları tespit edilmiştir. Şekil 88’de önerilen

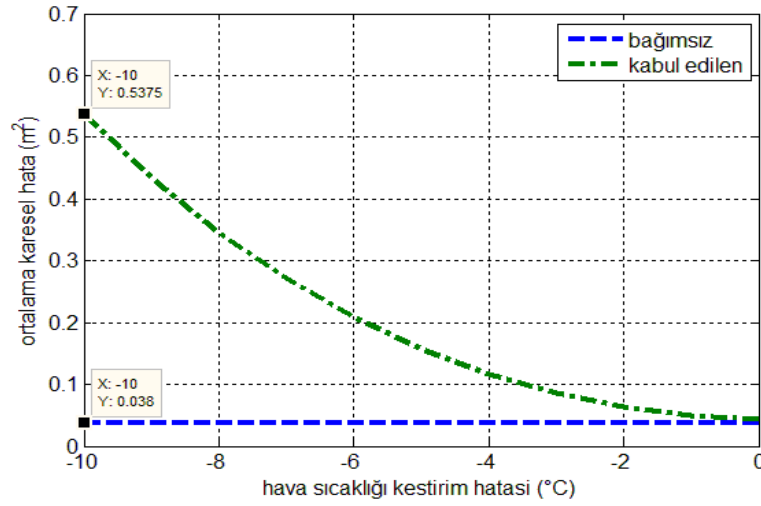
yöntemin tüm sıcaklık değerlerinde aynı karesel hataya sahip olduğu görülmektedir. Geleneksel PSO ise yayılma hızının tam ve -1°C hata ile hatalı bilindiği durumda önerilen yöntemi geçmiş diğer durumlarda daha düşük başarımlar göstermiştir. Ayrıca sıcaklık kestirim hatası -6°C 'den büyük olduğunda kaynak konumunu tespit edememiştir. Grafikte konumlandırma hatasının -6°C 'den sonra sabitlenmesinin nedeni PSO algoritmasında arama bölgesinin $-6\text{ m} \leq x \leq 6\text{ m}$ ve $0\text{ m} \leq y \leq 15\text{ m}$ aralığında sınırlandırılmış olmasıdır.



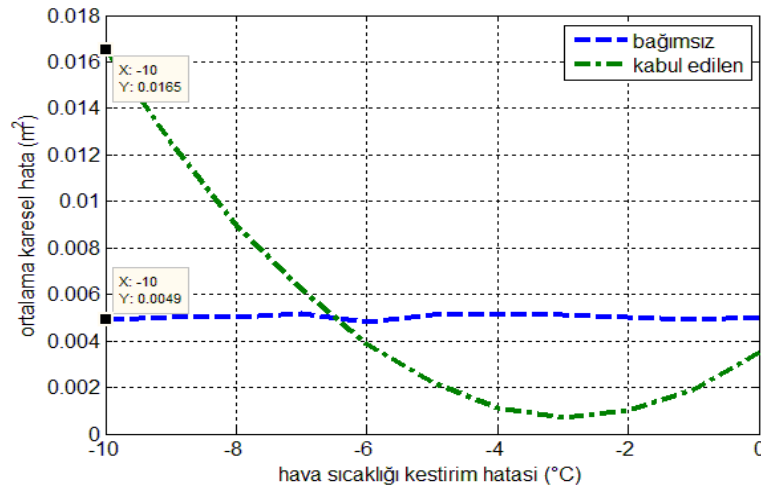
Şekil 87. 1. mikrofona ait OKH eğrileri



Şekil 88. 2. mikrofona ait OKH eğrileri

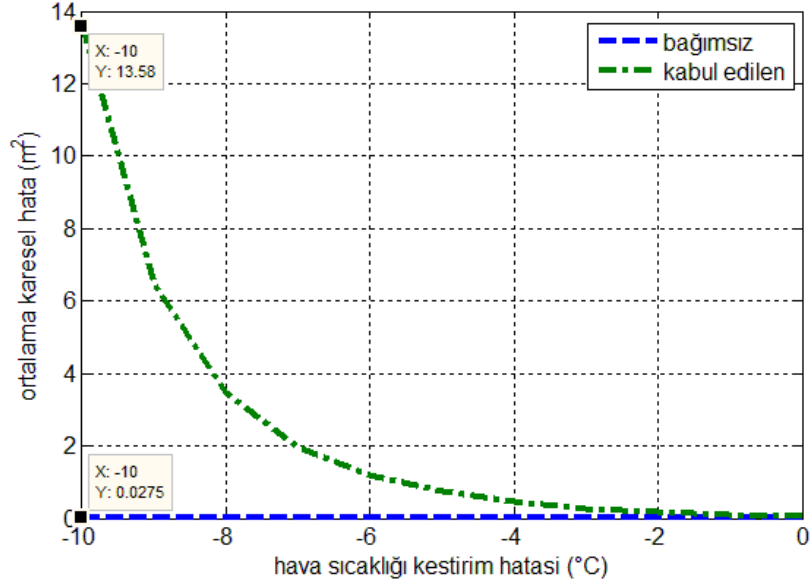


Şekil 89. 2. mikrofön dizisi ve 3. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri

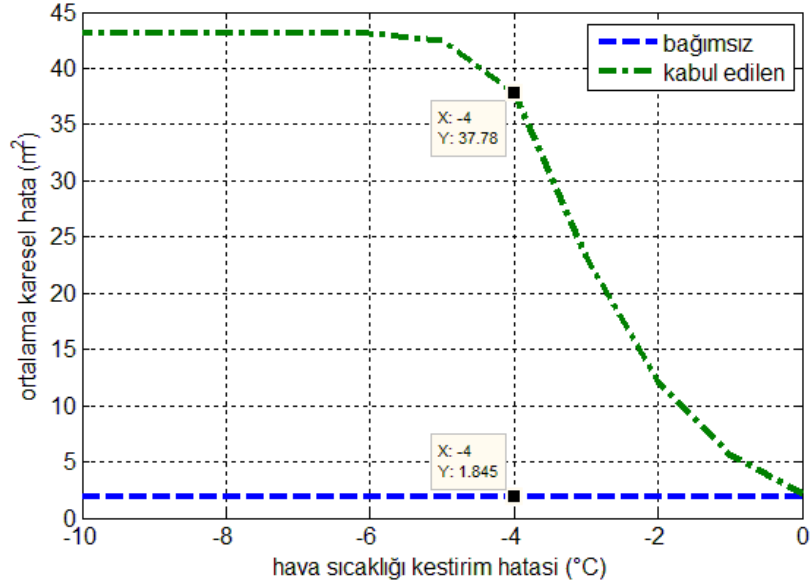


Şekil 90. 2. mikrofön dizisi ve 4. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri

Şekil 89'da önerilen yöntemin tüm sıcaklık değerlerinde aynı başarıma sahip olduğu ve klasik teknikten daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bununla birlikte geleneksel PSO her durumda hedef koordinatları tespit etmiştir. Şekil 90'da önerilen tekniğin kestirim hatasının her değeri için hemen hemen aynı karesel hataya sahip olduğu görülmektedir. Yöntem 0 °C ile -6 °C arasında geleneksel PSO'dan daha kötü diğer sıcaklık değerlerinde ise daha iyi sonuç vermiştir. Bu durum hedefin alıcı dizisinin yakınında ($x = -2.99$ m, $y = 0.62$ m) bulunması nedeniyle yayılma hızı kestirim hatasının konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkisinin az olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 91. 3. mikrofon dizisi ve 5. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri



Şekil 92. 3. mikrofon dizisi ve 6. hedef noktası için elde edilen OKH eğrileri

Şekil 91'de önerilen yöntemin tüm sıcaklık değerlerinde daha düşük karesel hataya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yöntemin konumlandırma doğruluğu her durum için aynıdır ve yayılma hızından bağımsızdır. Şekil 92'de benzer durum geçerli olup geleneksel teknik -4 °C'den daha büyük ortam sıcaklığı kestirim hatası için kaynak koordinatlarını tespit edememiştir.

3. SONUÇLAR

Bu doktora tezinde yüksek konumlandırma doğruluğuna sahip yeni yöntemler önerilmiş ve bu yöntemler geleneksel teknikler ve teorik limite karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen yöntemlerin başarımlarını test etmek amacıyla benzetimler yapılmış ve uygulanabilirliklerini göstermek için de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu doktora çalışması süresince elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Varies zamanları farkı ortalama (VZFO) yöntemine farklı bir bakış açısı getirilmiş ve katsayı matrisi basit bir çizgeler arası dolaşım algoritması ile yeniden üretilmiştir.
- Ortalama tekniğinde kullanılan katsayı matrisinin sadece üçlü VZF grupları ile değil aynı zamandan dördü, beşli ve bunların karışımları/bileşimleri ile de elde edilebileceği ispatlanmıştır.
- VZFO tekniğinin zaman farkı gürültüsü üzerindeki azaltıcı etkisi alıcı sayısına bağlı olarak gösterilmiştir.
- VZFO tekniği ile PSO birlikte kullanılarak, konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmış ve konum tespitinde geleneksel parçacık sürüsü optimizasyonuna (PSO) alternatif olarak daha yüksek doğruluğa sahip iki yeni yöntem önerilmiştir. Önerilen ilk teknik yalnızca ortalanmış zaman farklarını kullanılmış ve parçacık sürüsü optimizasyonu ortalanmış (PSOO) olarak adlandırılmıştır. İkinci algoritma ise hem kestirilmiş ve hem de ortalanmış varies zamanları farklarını (VZF) kullanmaktadır ve parçacık sürüsü optimizasyonu melez (PSOM) olarak isimlendirilmiştir.
- Önerilen VZFO destekli yöntemler zaman farkı tabanlı geleneksel teknikler (DOEKK, EÇO, DEKK ve ADEKK) ve teorik limit ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritmaların daha düşük karesel hataya sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Sunulan PSOO ve PSOM'nin algoritmaları geleneksel PSO ile kıyaslanmış ve başarımlarının %20 daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Tam zaman farkı seti kullanan PSO tabanlı tekniklerin geleneksel yöntemlerden ve teorik limitten daha düşük karesel hataya sahip olduğu ortaya konulmuştur.

- Zaman farkı ortalama yöntemi destekli doğrusal en küçük kareler ortalanmış (DEKKO) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler ortalanmış (ADEKKO) olarak adlandırılan iki yeni doğrusal konumlandırma algoritması sunulmuştur. Farklı verici-alıcı geometrileri ve gürültü seviyeleri için konum tespiti yapılmış ve önerilen yöntemler doğrusal en küçük kareler (DEKK), ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) ve teorik eşiği geçtiği görülmüştür.
- Önerilen VZFO destekli doğrusal algoritmalarının, konum tespitinde bağımsız set kullanmalarına rağmen Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) eşiğini geçtiği tespit edilmiştir.
- Literatürdeki VZF tabanlı konumlandırma teknikleri yayılma hızının biliniyor kabul edildiği ve kestirildiği yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında üçüncü bir grup olarak, yayılma hızından bağımsız konum tespiti yapan yeni bir yöntem önerilmiş ve önerilen yöntemin yayılma hızının doğru olarak bilindiği duruma yakın ve hızın hatalı bilindiği duruma göre ise oldukça düşük karesel hataya sahip olduğu benzetim sonuçları ile ortaya konmuştur.
- Konumlandırma doğruluğunu daha da arttırmak için alıcı dizileri hedefin kestirilen koordinatlarına göre CRAS eşiğini en küçük yapacak şekilde yönlendirilmiştir. Önerilen yöntemin tek yinelemede konumlandırma doğruluğunda belirgin bir artma sağladığı ve alıcı dizilerinin konumlandırma hatalarının doğrultudan bağımsız hale getirdiği görülmüştür.
- Bu doktora tezi kapsamında önerilen yöntemlerin (PSOO, PSOM, DEKKO, ADEKKO ve PSO-Bağımsız) pratikte kullanılabilir olduğunu göstermek amacıyla dört mikrofona sahip bir alıcı dizisiyle altı farklı hedef noktası için kestirilen zaman farkları kullanılarak, akustik bir kaynak konumlandırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:
 - Kestirilen zaman farkları ortalandıktan sonra kestirim hatası azalmakta ve konumlandırma doğruluğu artmaktadır. Ortalama işlemi tüm hedef noktaları için teorik limiti daha da aşağı çekmiştir.
 - Tüm hedef noktalarında bağımsız VZF seti ile konumlandırma yapan PSO algoritması CRAS limitini ve PSOO yöntemi de Cramer-Rao alt sınırı ortalanmış

(CRASO) eşiğini geçmemiştir. Bu durum ölçüm verileri ile yapılan konum tespitinin ve teorik limit hesabının doğru olduğunu göstermektedir.

- Üçüncü hedef noktası dışındaki tüm test noktalarında VZFO yöntemi karesel hatayı azaltmıştır.
- PSO algoritması ile konum tespitinde zaman farkı sayısı arttıkça konumlandırma doğruluğu artmaktadır. Üçüncü hedef noktası dışındaki tüm test noktalarında tam VZF seti kullanıldığında hata azalmıştır.
- Tüm test noktaları için VZFO yöntemi doğrusal konumlandırma teknikleriyle birlikte kullanılarak, belirgin bir başarımlı artışı sağlamıştır.
- Tüm kaynak noktaları için DEKK ve ADEKK yöntemleri CRAS sınırını ve DEKKO ve ADEKKO teknikleri de CRASO limitini geçmemiştir. Bu sonuç, akustik ölçüm verileri ile yapılan konum tespiti ve limit hesabının tutarlı olduğunu göstermektedir.
- Yayılma hızından bağımsız olarak hedef koordinatlarını bulan önerilen yöntem ses hızı kestirim hatasının tüm değerleri için aynı başarımlı göstermiş ve kaynak konumunu geleneksel PSO algoritmasından daha doğru olarak bulmuştur. Geleneksel PSO’da ise ortam sıcaklığı kestirim hatası arttıkça karesel hata da hızlı bir şekilde artmıştır.

Sonuç olarak bu doktora tezinde yüksek doğruluklu yeni konumlandırma yöntemleri (PSOO, PSOM, DEKKO, ADEKKO, PSO-Bağımsız ve Dinamik Yönlendirme) önerilmiş ve kestirim sınırları belirlenmiştir. Ayrıca sunulan tekniklerin başarımları geleneksel konumlandırma algoritmaları (DOEKK, EÇO, DEKK ve ADEKK) ve teorik limitle kıyaslanmıştır. Önerilen yöntemlerin CRAS eşiği ile uyumlu olması yapılan çalışmanın geçerliliğini ortaya koymaktadır.

4. ÖNERİLER

Bu doktora tezinde konumlandırma doğruluğunu arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmış ve PSO tabanlı yeni algoritmalar sunulmuştur. Bu alanda çalışan araştırmacılara yol göstermek ve elde edilen sonuçları daha da ileri taşımak amacıyla kaynak konumlandırmaya yönelik başlıca öneriler şunlardır:

- Bu tezde hedef konumu doğrudan görüş varken tespit edilmiştir. Önerilen yöntemlerin doğrudan görüş olmadığı durumdaki başarımları incelenebilir ve yeni teknikler geliştirilebilir.
- Verici koordinatları önerilen parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı yöntemlerle bulunmuştur. Bununla birlikte verici konumu bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve sürü tabanlı diğer yöntemler kullanarak da tespit edebilir.
- Kaynak koordinatlarının bulunmasında PSO algoritmasının en temel hali kullanılmış olup; yakınsama hızını, konumlandırma doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla algoritmanın geliştirilmiş versiyonları da kullanılabilir.
- PSO ile iki boyutlu ve üç boyutlu alıcı dizileri konumlandırma hatasını azaltacak şekilde optimize edilerek, optimum dizi geometrileri elde edilebilir.
- Önerilen yayılma hızından bağımsız konumlandırma yöntemiyle uyumlu optimum alıcı geometrileri bulunabilir.
- Hedef konumuyla birlikte yayılma hızını da kestiren PSO tabanlı yeni algoritmalar geliştirilebilir.
- Akustik ses ölçümlerinde sayısal osiloskop yerine yüksek hızlı veri toplama ve/veya sayısal işaret işleme kartları kullanılarak, konum tespiti gerçek zamanlı olarak yapılabilir.
- Kaynaktan yayılan sinyal çok kanallı veri toplama ve/veya sayısal işaret işleyici kartları kullanılarak çoklu mikروفon dizileriyle alınıp alıcı sayısının konumlandırma başarımı üzerindeki pratik olarak etkisi incelenebilir.

- Üç boyutlu alıcı dizileri kullanılarak, noktasal ses kaynağının koordinatları gerçek zamanlı olarak x , y ve z eksenlerinde tespit edilebilir.
- Önerilen yöntemler kullanılarak, uygun ölçüm düzeneği ile sualtı akustik hedefler konumlandırılabilir.
- Yüksek frekanslı ve geniş bantlı RF donanımlarla bina içerisindeki elektromanyetik kaynakların koordinatları çok geniş bantlı sinyaller kullanılarak, hassas bir şekilde bulunabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Xinrong, L., Collaborative Localization with Received-Signal Strength in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56,6 (2007) 3807–3817.
2. Zeng, W. J. ve Li, X. L., High-Resolution Multiple Wideband and Nonstationary Source Localization with Unknown Number of Sources, IEEE Transactions on Signal Processing, 58,6 (2010) 3125–3136.
3. Chan, Y., Tsui, W., So, H. ve Ching, P., Time-of-Arrival Based Localization Under NLOS Conditions, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55,1 (2006) 17–24.
4. Urruela, A., Sala, J. ve Riba, J., Average Performance Analysis of Circular and Hyperbolic Geo Location, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55,1 (2006) 52–66.
5. Ho, K. C., Lu, X. ve Kovavisaruch L., Source Localization Using TDOA and FDOA Measurements in the Presence of Receiver Location Errors Analysis and Solution, IEEE Transactions on Signal Processing, 55,2 (2007) 684–696.
6. Choi, H., Yang, K W. ve Kim, E., Simultaneous Global Localization and Mapping, IEEE Transactions on Mechatronics, 19,4 (2014) 1160–1170.
7. Benesty, J., Jingdong, C. ve Yiteng, H., Time-Delay Estimation via Linear Interpolation and Cross Correlation, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 12,5 (2004) 509–519.
8. Yan, J., Tiberius, C. C. J. M., Teunissen, P. J. G., Bellusci, G. ve Janssen, G. J. M., A Framework for Low Complexity Least-Squares Localization with High Accuracy, IEEE Transactions on Signal Processing, 58,9 (2010) 4836–4847.
9. Bin, Y. Z., Yan, Q. ve Nan, L. A., PSO Based Passive Satellite Localization Using TDOA and FDOA Measurements, International Conference on Computer and Information Science, Mayıs 2011, Sanya, 251–254.
10. Bergh, F. ve Engelbrecht, A. P., A Cooperative Approach to Particle Swarm Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 8,3 (2004) 225–239.

11. Schmidt, R. O., A New Approach to Geometry of Range Difference Location, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-8,6 (1972) 821–835.
12. Schmidt, R., Least Squares Range Difference Location, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 32,1 (1996) 234–242.
13. Cakir, O., Yazgan, A., Cakir, Ö., Tugcu, E. ve Kaya, I., Different Perspective of Time Difference of Arrival Averaging, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2012, Prague, 344–347.
14. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A., Cakir, Ö. ve Tugcu, E., Emitter Location Finding using Particle Swarm Optimisation, Radioengineering, 23,1 (2014) 252–258.
15. Cakir, O., Yazgan, A., Cakir, Ö., Tugcu, E. ve Kaya, I., Novel Composite Method for Determining The Location of The Transmitter Using Particle Swarm Optimization, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2012, Prague, 335–339.
16. Cakir, O., Kaya, I., ve Yazgan, A., Propagation Speed Free Emitter Location Finding using TDOA, Telecommunications Forum, Kasım 2013, Belgrade, 405–407.
17. Cakir, O., Kaya, I., ve Yazgan, A., Optimization of Receiver Arrangements for Emitter Location Finding using Time Difference of Arrival, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2013, Rome, 376–379.
18. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A. ve Cakir, Ö., Dynamic Orientation of Receiver Arrays Using Particle Swarm Optimisation, Electronics Letters, 49,21 (2013) 1013–1315.
19. Djuknic, G. M. ve Richton, R. E., Geolocation and Assisted GPS, IEEE Computer Society, 34,2 (2001) 123–125.
20. Alonso, J. D., Vidal, E. R., Rotter, A., ve Mühlenberg M., Lane-Change Decision Aid System Based on Motion-Driven Vehicle Tracking, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57,5 (2008) 2736–2746.
21. Nedevschi, S., Popescu, V. ve Danescu, R., Accurate Ego-Vehicle Global Localization at Intersections Through Alignment of Visual Data with Digital Map, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14,2 (2013) 673–687.
22. Abrougui, K., Boukerche, A., Werner R. ve Pazzi, N., Design and Evaluation of Context-Aware and Location-Based Service Discovery Protocols for Vehicular Networks, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12,3 (2011) 717–735.

23. Indelman, V., Gurfil, P., Rivlin, E. ve Rotstein, H., Real-Time Vision-Aided Localization and Navigation Based on Three-View Geometry, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 48,3 (2012) 2239–2259.
24. Drawil, N. M. ve Basir, O., Intervehicle-Communication-Assisted Localization, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 11,3 (2010) 678–691.
25. Salari, S., Shahbazpanahi, S. ve Ozdemir, K., Mobility-Aided Wireless Sensor Network Localization Via Semidefinite Programming, IEEE Transactions on Wireless Communications, 12,12 (2013) 5966–5978.
26. Yang, C., Nguyen, T. ve Blasch, E., Mobile Positioning via Fusion of Mixed Signals of Opportunity, IEEE A&E System Magazine, 29,4 (2014) 34–46.
27. Zekavat, R. ve Buehrer, R. M., Handbook of Position Location Theory Practice and Advances, First Edition, Wiley-IEEE Press, Singapore, 2011.
28. Drawil, N. M., Amar, H. M. ve Basir, O. A., GPS Localization Accuracy Classification: A Context-Based Approach, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14,1 (2013) 262–273.
29. Prieto, J. C., Jimenez, A. R., Guevara, J., Ealo, J. L., Seco, F., Roa, J. O ve Ramos, F., Performance Evaluation of 3D-LOCUS Advanced Acoustic LPS, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 8 (2009) 2385–2395.
30. Hegrenas, O. ve Hallingstad, O., Model-Aided INS With Sea Current Estimation for Robust Underwater Navigation, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 36,2 (2011) 316–337.
31. Seifeldin, M., Saeed, A., Kosba, A. E., El-Keyi, A. ve Youssef, M., Nuzzer, A Large-Scale Device-Free Passive Localization System for Wireless Environments, IEEE Transactions on Mobile Computing, 12,7 (2013) 1321–1334.
32. Zhu, W., Cao, J., Xu, Y., Yang, L. ve Kong, J., Fault-Tolerant RFID Reader Localization Based on Passive RFID Tags, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 25,8 (2014) 2065–2076.
33. Chan, H. K., Agent-Based Factory Level Wireless Local Positioning System With ZigBee Technology, IEEE System Journal, 4,2 (2010) 179–185.
34. Popescu, V., Cleveland, W. P. ve Boidot, E., Technical Correspondence Reliably Creating Collision Avoidance Advisories in Piloted Simulations, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 43,4 (2013) 416–420.

35. Wang, G., Chen, H. ve Ansari, N., NLOS Error Mitigation for TOA-Based Localization via Convex Relaxation, IEEE Transactions on Wireless Communication, 13,8 (2014) 4119–4131.
36. Shen, H., Ding, Z., Dasgupta, S. ve Zhao, C., Multiple Source Localization in Wireless Sensor Networks Based on Time of Arrival Measurement, IEEE Transactions on Signal Processing, 62,8 (2014) 1938–1949.
37. Jean, O. ve Weiss, A. J., Passive Localization and Synchronization Using Arbitrary Signals, IEEE Transactions on Signal Processing, 8,15 (2014) 2143–2150.
38. Rui, L. ve Ho, K. C., Elliptic Localization: Performance Study and Optimum Receiver Placement, IEEE Transactions on Signal Processing, 62,18 (2014) 4673–4688.
39. Jean, O. ve Weiss, A. J., Geolocation by Direction of Arrival Using Arrays With Unknown Orientation, IEEE Transactions on Signal Processing, 62,12 (2014) 3135–3142.
40. Kumar, L., Tripathy, A. Hegde, R. M., Robust Multi-Source Localization Over Planar Arrays Using MUSIC-Group Delay Spectrum, IEEE Transactions on Signal Processing, 62,17 (2014) 4627–4636.
41. Coluccia, A. ve Ricciato, F., RSS-Based Localization via Bayesian Ranging and Iterative Least Squares Positioning, IEEE Communications Letters 18,5 (2014) 873–876.
42. Xu, Y., Zhou, J. ve Zhang, P., RSS-Based Source Localization When Path-Loss Model Parameters are Unknown, IEEE Communications Letters, 18,6 (2014) 1055–1058.
43. Chiang, C. T., Tseng, P. H. ve Feng, K. T., Hybrid TOA/TDOA Based Unified Kalman Tracking Algorithm for Wireless Networks, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 2010, Istanbul, 1707–1712.
44. Gholami, M. R., Gezici, S. Ström, E. G., Improved Position Estimation Using Hybrid TW-TOA and TDOA in Cooperative Networks, IEEE Transactions on Signal Processing, 60,7 (2012) 3770–3785.
45. Yost, G. P. ve Panchapakesan, S., Automatic Location Identification Using a Hybrid Technique, IEEE Vehicular Technology Conference, Mayıs 1998, Ottawa, 264–267.

46. Ding, G., Tan, Z., Zhang, L., Zhang, Z. ve Zhang, J., Hybrid TOA/AOA Cooperative Localization in Non-line-of-sight Environments, IEEE Vehicular Technology Conference, Mayıs 2012, Yokohama, 1–5.
47. Al-Jazzar, S., Ghogho, M. ve McLernon, D., A Joint TOA/AOA Constrained Minimization Method for Locating Wireless Devices in Non-Line-of-Sight Environment, IEEE Vehicular Technology Conference, Mayıs 2012, Baltimore, 468–472.
48. Zhang, V. Y., Wong, A. K., Woo, K. T. ve Ouyang, R. W., Hybrid TOA/AOA-based Mobile Localization With and Without Tracking in CDMA Cellular Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Nisan 2010, Sydney, 1–6.
49. Hatami, A. ve Pahlavan, K., Hybrid TOA-RSS Based Localization Using Neural Networks, IEEE Global Telecommunications Conference, Kasım 2006, San Francisco, 1–5.
50. Kim, C., Lee, S. ve Kim, K., 3D Underwater Localization with Hybrid Ranging Method for Near-sea Marine Monitoring, International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, Ekim 2011, Melbourne, 438–441.
51. Laaraiedh, M., Avrillon, S. ve Uguen, B., Hybrid Data Fusion Techniques for Localization in UWB Networks, Workshop on Positioning and Navigation Communication, Mart 2009, Hannover, 51–57.
52. Cong, L. ve Zhuang, W., Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems, IEEE Transactions on Wireless Communications, 1,3 (2002) 439–447.
53. Wann, C. D., Yeh, Y. J. ve Hsueh, C. S., Hybrid TDOA/AOA Indoor Positioning and Tracking Using Extended Kalman Filters, IEEE Vehicular Technology Conference, Mayıs 2006, Melbourne, 1058–1062.
54. Yang, C., Huang, Y. ve Zhu, X., Hybrid TDOA/AOA Method for Indoor Positioning Systems, The Institution of Engineering and Technology Seminar on Location Technologies, Ekim 2007, London, 1–5.
55. Fadhel, M., Ghannouchi, D. W. ve Tiwari, S., Accurate Wireless Indoor Position Estimation by Using Hybrid TDOA/RSS Algorithm, IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Temmuz 2012. Istanbul, 437–441.

56. Mayorga, C. L. F, Francescantonio, D. R., Wardana, S. A., Gianluca, S.; Raynal, M C. N., Figueiras, J. ve Frattasi, S., Cooperative Positioning Techniques for Mobile Localization in 4G, IEEE International Conference on Cellular Networks Pervasive Services, Temmuz 2007, Istanbul, 39–44.
57. Sahinoglu, Z. ve Catovic, A., A Hybrid Location Estimation Scheme (H-LES) for Partially Synchronized Wireless Sensor Networks, IEEE International Conference on Communications, Temmuz 2004, Paris, 3797–3801.
58. Kulaib, A. R., Shubair, R. M. ve Al-Qutayri, M. A., Investigation of a Hybrid Localization Technique using Received Signal Strength and Direction of Arrival, IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems, Aralık 2013, Abu Dhabi, 189–192.
59. Wang, S., Jackson, B. R. ve Inkol, R., Hybrid RSS/AOA Emitter Location Estimation Based on Least Squares and Maximum Likelihood Criteria, Biennial Symposium on Communications, Mayıs 2012, Kinston, 24–29.
60. Wang, Y., Wiemeler, M., Zheng, F., Xiong, W. ve Kaiser, T., Two-Step Hybrid Self-Localization Using Unsynchronized Low-Complexity Anchors, International Conference on Localization and GNSS, Haziran 2013, Turin, 1–5 .
61. Hui, X. ve Yan, Q., Multi-algorithm Hybrid Location Model Based on Data Fusion, International Conference on Communications and Mobile Computing, Nisan 2010, Shenzhen, 408–412.
62. Laaraiedh, M., Yu, L., Avrillon, S. ve Uguen, B., Comparison of Hybrid Localization Schemes Using RSSI TOA and TDOA, European Wireless Conference, Nisan 2011, Vienna, 626–630.
63. Chen, J. ve Abedi, A., A Hybrid Framework for Radio Localization in Broadband Wireless Systems, IEEE Global Telecommunications Conference, Aralık 2010, Miami, 1–6.
64. Papakonstantinou, K. ve Slock, D., Hybrid TOA/AOD/Doppler-Shift Localization Algorithm for NLOS Environments, International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, Eylül 2009, Tokyo, 1948–1452.
65. Musicki, D., Kaune, R. ve Koch, W., Mobile Emitter Geolocation and Tracking Using TDOA and FDOA Measurements, IEEE Transactions on Signal Processing, 58,3 (2010) 1863–1874.
66. Wang, G., Li, Y. ve Ansari, N., A Semidefinite Relaxation Method for Source Localization Using TDOA and FDOA Measurements, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62,2 (2013) 853–862.

67. Yu, H., Huang, G., Gao, J. ve Liu, B., An Efficient Constrained Weighted Least Squares Algorithm for Moving Source Location Using TDOA and FDOA Measurements, IEEE Transactions on Wireless Communication, 11,1 (2012) 44–47.
68. McDonald, K. F. ve Kuklinski, W. S., Track Maintenance and Positional Estimation Via Ground Moving Target Indicator and Geolocation Data Fusion, IEEE Proceedings of the Radar Conference, Mayıs 2001, Atlanta, 239–245.
69. Mikhalev, A. ve Ormondroyd, R., Passive Emitter Geolocation using Agent-based Data Fusion of AOA TDOA and FDOA Measurements, 10th International Conference on Information Fusion, Temmuz 2007, Quebec, 1–6.
70. Liang, Q., Zhang, B., Zhao, C. ve Pi, Y., TDoA for Passive Localization: Underwater versus Terrestrial Environment, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 24,10 (2013) 2100–2108.
71. Rad, H., J. ve Leus, G., Sparsity-Aware Multi-Source TDOA Localization, IEEE Transactions on Signal Processing, 61,19 (2013) 4874–4887.
72. Cakir, O., Yazgan, A. ve Kaya, I., Accuracy Comparison of Time Difference of Arrival Based Source Localization Methods, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2014, Berlin, 301–304.
73. Çakır, O., Kaya, İ. ve Çakır, Ö., Kaynak Konumlandırma Varies Zamanları Farkı Setlerinin Konumlandırma Doğruluğu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2014, Trabzon, 2249–2252.
74. Chan, Y. T. ve Ho, K. C., A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location, IEEE Transactions on Signal Processing, 42,8 (1994) 1905–1915.
75. Carevic, D., Automatic Estimation of Multiple Target Positions and Velocities Using Passive TDOA Measurements of Transients, IEEE Transactions on Signal Processing, 55,2 (2007) 424–436.
76. Wen, F. ve Wan, Q., Maximum Likelihood and Signal-Selective TDOA, Journal of Communication and Network Estimation for Noncircular Signals, 15,3 (2013) 245–251.
77. Hu, X., Yinping, W., Wenguang, Z. ve Hongping, Z., Accuracy Analysis of the TDOA Method in a Lightning Location System, International Conference on Management and Service Science, Eylül 2009, Wuhan, 1–4.
78. Chan, F. K. W., So, H. C., Zheng, J. ve Lui, K.W.K., Best Linear Unbiased Estimator Approach for Time-of-Arrival Based Localisation, IET Signal Processing, 2,2 (2008) 156–162.

79. Parpinelli, R. S. ve Lopes, H. S., New Inspirations in Swarm Intelligence a Survey, International Journal of Bio-Inspired Computation, 3,1 (2011) 1–16.
80. Bonabeau, E., Dorigo, M. ve Theraulaz, G., Swarm Intelligence From Natural to Artificial Systems, First Edition, Oxford University Press, New York, 1999.
81. Garnier, S., Gautrais, J. ve Theraulaz, G., The Biological Principles of Swarm Intelligence, Swarm Intelligence, 1,1 (2007) 3–31.
82. Dorigo, M. ve Stützle, T., Ant Colony Optimization, First Edition, MIT Press, Boston, 2004.
83. Clerc, M., Particle Swarm Optimization, First Edition, ISTE Press, London, 2006.
84. Seeley, T., The Wisdom of the Hive, First Edition, Harvard University Press, Boston, 1995.
85. Sato, T. ve Hagiwara, M., Bee System Finding Solution by a Concentrated Search, IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, Ekim 1997, Orlando, 4,C 3954–3959.
86. Nakrani, S. ve Tovey, C., On Honey Bees and Dynamic Allocation in an Internet Server Colony', International Workshop on the Mathematics and Algorithms of Social Insects, Eylül 2003, California, 12,3 223–240.
87. Wedde, H., Farooq, M. ve Zhang, Y., Beehive an Efficient Fault-tolerant Routing Algorithm Inspired by Honey Bee Behavior, International Workshop Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Eylül 2004, Brussel, 83–94.
88. Yang, X., Engineering Optimizations Via Nature-Inspired Virtual Bee Algorithms, International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, Haziran 2005, Las Palmas, 317–323.
89. Teodorovic, D. ve Dell'Orco, M., Bee Colony Optimization a Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems, EWGT Meeting and Mini-EURO Conference, Eylül 2005, Poznan, 51–60.
90. Drias, H., Sadeg, S. ve Yahi, S., Cooperative Bees Swarm for Solving the Maximum Weighted Satisfiability Problem, International Work Conference on Artificial and Natural Neural Networks, Haziran 2005, Barcelona, 318–325.
91. Karaboga, D., An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report, Erciyes University Computer Engineering Department, Kayseri, 2005.

92. Pham, D., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S. ve Zaidi, M., The Bees Algorithm a Novel Tool for Complex Optimisation Problems, International Virtual Conference on Intelligent Production Machines and Systems, Temmuz 2006, Cardiff, 454-459.
93. Baig, A. ve Rashid, M., Honey Bee Foraging Algorithm for Multimodal and Dynamic Optimization Problems, Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, Temmuz 2007, London, 169–169.
94. Pham, D., Koc, E., Ghanbarzadeh, A. ve Otri, S., Optimisation of the Weights of Multi-layered Perceptrons Using the Bees Algorithm, International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Mayıs 2006, Sakarya.
95. Pham, D., Koc, E., Lee, J. ve Phrueksanant, J., Using the Bees Algorithm to Schedule Jobs for a Machine, International Conference on Laser Metrology CMM and Machine Tool Performance, Haziran 2007, Cardiff, 430–439.
96. Pham, D., Otri, S., Afify, A., Mahmuddin, M. ve Al-Jabbouli, H., Data Clustering using the Bees Algorithm, International Manufacturing Systems Seminar, Haziran 2007, Liverpool.
97. Bahamish, H., Abdullah, R. ve Salam, R., Protein Conformational Search using Bees Algorithm, Asia international Conference on Modelling and Simulation, Mayıs 2008, Kuala Lumpur, 911–916.
98. Pham, D. ve Kalyoncu, M., Optimisation of a Fuzzy Logic Controller for a Flexible Single-link Robot Arm Using the Bees Algorithm, IEEE International Conference on Industrial Informatics, Haziran 2009, Cardiff, 475–480.
99. Dhurandher, S., Singhal, S., Aggarwal, S., Pruthi, P., Misra, S. ve Woungang, I., A Swarm Intelligence-based P2P File Sharing Protocol Using Bee Algorithm, International Conference on Computer Systems and Applications, Mayıs 2009, Rabat, 690–696.
100. Guney, K. ve Onay, M., Bees Algorithm for Interference Suppression of Linear Antenna Arrays by Controlling the Phase-only and Both the Amplitude and Phase, Expert Systems with Applications, 37,4 (2010) 3129–3135.
101. Berg, H., E Coli in Motion, 2004th Edition, Springer Science Business Media, New York, 2004.
102. Kim, D. ve Cho, C., Adaptive Tuning of PID Controller for Multivariable System Using Bacterial Foraging Based Optimization, Advances in Web Intelligence Third International Atlantic Web Intelligence Conference, Haziran 2005, Lodz, 231–235.

103. Luo, Y. ve Chen, Z., Optimization for PID Control Parameters on Hydraulic Servo Control System Based on the Novel Compound Evolutionary Algorithm, International Conference on Computer Modeling and Simulation, Ocak 2010, Sanya, 40–43.
104. Mishra, S., A Hybrid Least Square-fuzzy Bacterial Foraging Strategy for Harmonic Estimation, IEEE Transactions Evolutionary Computation, 9,1 (2005) 61–73.
105. Tripathy, M., Mishra, S., Lai, L. ve Zhang, Q., Transmission Loss Prediction Based on FACTS and Bacteria Foraging Algorithm, Parallel Problem Solving from Nature, Eylül 2006, Reykjavik, 222–231.
106. Kim, D. ve Cho, C., Bacterial Foraging Based Neural Network Fuzzy Learning, Indian International Conference on Artificial Intelligence, Aralık 2005, Tumkur, 2030–2036.
107. Majhi, R., Panda, G., Majhi, B. ve Sahoo, G., Efficient Prediction of Stock Market Indices using Adaptive Bacterial Foraging Optimization and BFO Based Techniques, Expert Systems with Applications, 36,6 (2009) 10097–10104.
108. Majhi, B. ve Panda, G., A Hybrid Functional Link Neural Network and Bacterial Foraging Approach for Efficient Identification of Dynamic Systems, International Journal of Applied Artificial Intelligence in Engineering Systems, 1,1 (2009) 91–104.
109. Alavandar, S., Jain, T. ve Nigam, M. J., Hybrid Bacterial Foraging and Particle Swarm Optimisation for Fuzzy Precompensated Control of Flexible Manipulator, International Journal of Automation and Control, 4,2 (2010) 234–251.
110. Krishnanand, K. ve Ghose, D., Detection of Multiple Source Locations Using a Glowworm Metaphor with Applications to Collective Robotics, IEEE Swarm Intelligence Symposium, Haziran 2005, California, 84–91.
111. Yang, X., Nature Inspired Metaheuristic Algorithms, First Edition, Luniver Press, United Kingdom, 2008.
112. Krishnanand, K. ve Ghose, D., Glowworm Swarm Optimization for Simultaneous Capture of Multiple Local Optima of Multimodal Functions, Swarm Intelligence, 3,2 (2009) 87–124.
113. Lukasik, S. ve Zak, S., Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks, International Conference on Computational Collective Intelligence, Ekim 2009, Wroclaw, 97–106.

114. Yang, X., Firefly Algorithm Lévy Flights and Global Optimization, Research and Development in Intelligent Systems, Mart 2010, London, 209–218.
115. Bell, W.J., Roth, L. ve Nalepa, C., Cockroaches Ecology Behavior and Natural History, First Edition, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2007.
116. Havens, T., Alexander, G., Abbott, C., Keller, J., Skubic, M. ve Rantz, M., Contour Tracking of Human Exercises, IEEE Workshop on Computational Intelligence for Visual Intelligence, Nisan 2009, Nashville, 22–28.
117. Mehlhorn, H., Mosquitoes in Encyclopedic Reference of Parasitology Biology Structure Function, Second Edition, Springer Science Business Media, Berlin, 2001.
118. Altringham, J., McOwat, T. ve Hammond, L., Bats Biology and Behavior, First Edition, Oxford University Press, Oxford, 1998.
119. Yang, X., A New Metaheuristic Bat-inspired Algorithm, Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization Studies in Computational Intelligence, April 2010, Granada, 65–74.
120. Kennedy, J. ve Eberhart, R., Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Kasım 1995, Perth, 1942–1948.
121. Kennedy, J. ve Mendes, R., Neighborhood Topologies in Fully Informed and Best-of-Neighborhood Particle Swarms, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 36,4 (2006) 515–519.
122. Li, S., Tan, M., Tsang, I. W. ve Kwok, J.T.Y., A Hybrid PSO-BFGS Strategy for Global Optimization of Multimodal Functions Systems, IEEE Transactions on Man and Cybernetics Part B Cybernetics, 41,4 (2011) 1003–1014.
123. Yogi, S., Subhashini, K. R. ve Satapathy, J. K., A PSO Based Functional Link Artificial Neural Network Training Algorithm for Equalization of Digital Communication Channels, Industrial and Information Systems, Temmuz 2010, Mangalore, 107–112.
124. Bevrani, H., Habibi, F., Babahajyani, P., Watanabe, M. ve Mitani, Y., Included in Your Digital Subscription Intelligent Frequency Control in an AC Microgrid Online PSO-Based Fuzzy Tuning Approach, IEEE Transactions on Smart Grid, 3,4 (2012) 1935–1944.
125. Lei, J. J. ve Li, L., Included in Your Digital Subscription A Decision Support System for Supply Chain Management Based on PSO and GIS Control, International Conference on Automation and Systems Engineering, Temmuz 2009, Zhangjiajie, 58–61.

126. Clerc, M. ve Kennedy, J., The Particle Swarm Explosion Stability and Convergence in a Multidimensional Complex Space, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6,1 (2002) 58–72.
127. Parsopoulos, K. E. ve Vrahatis, M. N., Particle Swarm Optimization and Intelligence Advances and Applications, First Edition, IGI Global, Hershey, 2010.
128. Nishimura, Y. ve Suyama, K., An Avoidance of Premature Convergence in IIR Filter Design using PSO, Annual Summit and Conference Signal and Information Processing Association, Ekim 2013, Kaohsiung, 1–4.
129. El-Abd, M., Preventing premature convergence in a PSO and EDA Hybrid, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Mayıs 2009, Trondheim, 3060–3066.
130. Pornsing, C., A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem, PhD Thesis, University of Rhode Island, Rhode Island, 2014.
131. Parsopoulos, K. E. ve Vrahatis, M. N., Unified Particle Swarm Optimization for Tackling Operations Research Problems, Proceedings of Swarm Intelligence Symposium, Haziran 2005, Pasadena, 53–59.
132. Shi, Y. ve Eberhart, R. C., A Modified Particle Swarm Optimizer, Proceedings of the Evolutionary Computation, Mayıs 1998, Anchorage, 69–73.
133. Shi, Y. ve Eberhart, R. C., Empirical Study of Particle Swarm Optimization, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Temmuz 1999, Washington, 1945–1950.
134. Ueno, G., Yasuda, K. ve Iwasaki, N., Robust Adaptive Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on System Man and Cybernetics, Ekim 2005, Hawaii, 3915–3020.
135. Ai, T. J. ve Kachitvichyanukul, V., A Study on Adaptive Particle Swarm Optimization for Solving Vehicle Routing Problem, Asia Pacific Industrial Engineering Management Systems Conference, Aralık 2008, Bali, 2262–2268.
136. Yang, J. Yuan, J. ve Mao, H., A Modified Particle Swarm Optimization with Dynamic Adaptation, Applied Mathematics and Computation, 189,2 (2007) 1205–1213.
137. Yasuda, K., Iwasaki, N., Ueno, G. ve Aiyoshi, E., Particle Swarm Optimization a Numerical Stability Analysis and Parameter Adjustment Based on Swarm Activity, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 3,6 (2008) 642–659.

138. Gang, M., Wei, Z. ve Xiaolin, C., A Novel Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Particle Swarm Migration, Applied Mathematics and Computation, 218,11 (2012) 6620–6626.
139. Leontitsis, A., Kontogiorgos, D. ve Pagge, J., Repel the Swarm to the Optimum, Applied Mathematics and Computation, 173,1 (2006) 265–272.
140. Kaewkamnerdpong, B. ve Bentley, P. J., Perceptive Particle Swarm Optimization, International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms, Haziran 2005, Pasadena, 259–263.
141. Deng, W., Chen, R., He, B., Lu, Y., Yin, L. ve Gup, J., A Novel Two Stage Hybrid Swarm Intelligence Optimization Algorithm and Application, Soft Computing, 6,10 (2012) 1707–1722.
142. Shelokar, P., Siarry, P., Jaryaraman, V. ve Kulkarni, B., Particle Swarm and Ant Colony Algorithms Hybridized for Improved Continuous Optimization, Applied Mathematics and Computation, 188,1 (2007) 129–142.
143. Shieh, H. L., Kuo, C. C. ve Chiang, C. M., Modified Particle Swarm Optimization Algorithm with Simulated Annealing Behavior and Its Numerical Verification, Applied Mathematics and Computation, 218 (2011) 4365–4383.
144. Çakır, O. ve Kaya, İ., Verici Konumu Tespitinde Alıcı Dağılımının Konumlandırma Hatası Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2013, Girne, 1–4.
145. Li, Y. L., Shao, W., You, L. ve Wang, B. Z., An Improved PSO Algorithm and Its Application to UWB Antenna Design, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 12 (2013) 1239–1239.
146. Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M. ve Mekhilef, S., An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation, IEEE Transactions on Power Electronics, 27,8 (2012) 3627–3638.
147. Ho, S. L., Yang, S. Y., Ni, G. Z. ve Wong, K. F., An Improved PSO Method With Application to Multimodal Functions of Inverse Problems, IEEE Transactions on Magnetics, 43,3 (2007) 1597–1600.
148. Liu, B. C., Lin, K. H. ve Wu, J. C., Analysis of Hyperbolic and Circular Positioning Algorithms Using Stationary Signal-Strength-Difference Measurements in Wireless Communications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55,2 (2006) 499–509.

149. Liu, B. C. ve Lin, K. H., Mitigating Location Error Using Residual Method for Hyperbolic Positioning Technique Based on Stationary Signal-Strength-Difference Measurements, *IEEE 64th Vehicular Technology Conference*, Eylül 2006, Montreal, 1–5.
150. Liu, B. C. ve Lin, K. H., A Base Vector Algorithm for Location Determination Based on SSSD Measurements in Wireless Cellular Communications, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Kasım 2006, San Francisco, 1–5.
151. Liu, B. C. ve Lin, K. H., Enhanced Location Accuracy for Hyperbolic Positioning Technique Based on SSSD Measurements in Wireless Cellular Networks via Least-Square Algorithm, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Kasım 2006, San Francisco, 1–5.
152. Liu, B. C. ve Lin, K. H., Error Analysis of the Distance and Distance Difference for SSSD-based Wireless Location: Part I–Theoretical Aspects, *65th Vehicular Technology Conference*, Nisan 2007, Dublin, 684–688.
153. Liu, B. C. ve Lin, K. H., Error Analysis of the Distance and Distance Difference for SSSD-based Wireless Location: Part II–Experimental Results, *65th Vehicular Technology Conference*, Nisan 2007, Dublin, 689–693.
154. Liu, B. C. ve Lin, K. H., On the Accuracy Analysis of the Distance-Difference Estimation for SSSD Positioning Method in Wireless Communications, *IEEE International Conference on Communications*, Haziran 2007, Glasgow, 4686–4691.
155. Liu, B. C. ve Lin, K. H., Distance Difference Error Correction by Least Square for Stationary Signal-Strength-Difference-Based Hyperbolic Location in Cellular Communications, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57,1 (2008) 227–238.
156. Korkmaz, S., Detection and Estimation with Redundant Range Differences, *IEEE Radar Conference*, Mayıs 2008, Rome, 1–4.
157. Liu, N. ve Xu, Z., Low-complexity Hyperbolic Source Localization with a Linear Sensor Array, *IEEE Signal Processing Letters*, 15 (2008) 865–868.
158. Sun, M., Yang, L. ve Ho, D. K. C., Efficient Joint Source and Sensor Localization in Closed-form, *IEEE Signal Processing Letters*, 19,7 (2012) 399–402.
159. Herath, S. C. K. ve Pathirana, P. N., Robust Localization with Minimum Number of TDoA Measurements, *IEEE Signal Processing Letters*, 20,10 (2013) 949–951.

160. Reed, C. W., Hudson, R. ve Yao, K., Direct Joint Source Localization and Propagation Speed Estimation, IEEE International Conference on Acoustics Speed and Signal Processing, Mart 1999, Phoenix, 1169–172.
161. Mahajan, A. ve Walworth, M., 3-D Position Sensing using the Differences in the Time-of-Flights from a Wave Source to Various Receivers, IEEE Transactions Robotic and Automation, 17,1 (2001) 91–94.
162. Zheng, J., Lui, K. W. K. ve So, H. C., Accurate Three-step Algorithm for Joint Source Position and Propagation Speed Estimation, Signal Processing, 87 (2007) 3096–3100.
163. Annibale, P. ve Rabenstein, R., Acoustic Source Localization and Speed Estimation Based on Time-differences-of-arrival under Temperature Variations, European Signal Processing Conference, Ağustos 2010, Aalborg, 721–725.
164. Annibale, P., Filos, J., Naylor, P. A. ve Rabenstein, R., Acoustic TDOA-based Speed of Sound Estimation for Air Temperature and Room Geometry Inference, IEEE Audio Speech and Language Processing, 21,2 (2013) 234–246.
165. Carter, G. C., Variance Bounds for Passively Locating an Acoustic Source with a Symmetric Line Array, Journal of Acoustic Society America, 62,4 (1977) 922–926.
166. Abel, J., Optimal Sensor Placement for Passive Source Localization, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Nisan 1990, California, 2927–2930.
167. Yang, B. ve Scheuing, J., Cramer-Rao Bound and Optimum Sensor Array for Source Localization from Time Differences of Arrival, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Mart 2005, Pennsylvania, 961–964.
168. Yang, B. ve Scheuing, J., A Theoretical Analysis of 2D Sensor Arrays for TDOA Based Localization, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Mayıs 2006, Toulouse, 901–904.
169. Yang, B., Different Sensor Placement Strategies for TDOA Based Localization, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Nisan 2007, Hawaii, 1093–1096
170. Ho, K. C. ve Vicente, L. M., Sensor Allocation for Source Localization with Decoupled Range and Bearing Estimation, IEEE Transactions on Signal Processing, 56,12 (2008) 5773–5789.
171. Shadi, K., Dehghani, H. ve Gholampour, I., Well-Conditioned Sensor Placement for Range-Only Localization, International Conference on New Technologies Mobility and Security, Şubat 2011, Paris, 1–5.

172. Kreucher, C., Optimal Sensor Placement for a Constellation of Multistatic Narrowband Pixelated Sensors, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews, 42,6 (2012) 1374–1383.
173. Meng, W., Xie, L. ve Xiao, W., Optimal Sensor Pairing for TDOA Based Source Localization and Tracking in Sensor Networks, International Conference on Information Fusion, Temmuz 2012, Singapore, 1897–1902.
174. Liang, Y., Jia, Y., Du, J. ve Zhang J., Simultaneous Scan-based Emitter Passive Localization and Receiver Trajectory Optimization, Annual Conference on Digital Object Identifier, Aralık 2012, Maui, 788–793.
175. GAMO Outdoor USA, PT-85 Blowback Socom and PT-25 Blowback Tactical Instruction Manual, Yayın No: BD03301, Florida, 2010.
176. GAMO Outdoor USA, PT-85 Blowback and PT-25 Blowback Instruction Manual, Yayın No: RD051110, Florida, 2010.
177. Lino Manfrotto Co., Art 400, Yayın No: 400, Cassola, 1993.
178. Lino Manfrotto Co., Art 161MK2B, Yayın No: A0119748, Cassola, 2004.
179. HAMEG Instruments, 250/350 MHz Digital Oscilloscope HMO Series, Yayın No: 41-HMOS-0E00, Hesse, 2012.
180. HAMEG Instruments, SCPI Programmers Manual HMO Series, Yayın No: 4.202, Hesse, 2012.
181. Lombard, A., Zheng, Y., Buchner, H. ve Kellermann, W., TDOA Estimation for Multiple Sound Sources in Noisy and Reverberant Environments Using Broadband Independent Component Analysis, IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, 19,6 (2011) 1490–1503.
182. Nesta, F. ve Omologo, M., Generalized State Coherence Transform for Multidimensional TDOA Estimation of Multiple Sources, IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, 20,1 (2012) 246–260.
183. He, H., Wu, L., Lu, J., Qiu, X. ve Chen, J., Time Difference of Arrival Estimation Exploiting Multichannel Spatio-Temporal Prediction, IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, 21,3 (2013) 463–475.
184. Yun, X., Yuan, G., Carter, C. ve Salt, J. E., Near-Optimal Range and Depth Estimation Using a Vertical Array in a Correlated Multipath Environment, IEEE Transactions on Signal Processing, 48,2 (2000) 317–330.

ÖZGEÇMİŞ

01.02.1980 tarihinde Trabzon'da doğdu. Lise öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2002 yılında bu bölümden Elektrik–Elektronik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı ve 2005 yılında Yüksek Elektronik Mühendisi unvanını aldı. 2006 yılından buyana, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmakta olan Oğuzhan ÇAKIR sinyal işleme, verici konumu tespiti, pasif radarlar ve kablosuz algılayıcı ağları alanlarında akademik çalışmalar yürütmektedir ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI/SCIE)

1. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A., Cakir, Ö. ve Tugcu, E., Emitter Location Finding using Particle Swarm Optimisation, Radioengineering, 23,1 (2014) 252–258.
2. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A. ve Cakir, O., Dynamic Orientation of Receiver Array using Particle Swarm Optimisation, Electronics Letters, 49,21 (2013) 1313–1315.
3. Kutuk, S., Bolat, S., Ozturk, K., Akbulut, S. ve Cakir, O., Levitation Force Density on Different Thicknesses of YBa₂Cu₃O_{7-x} Bulk Superconductor Fabricated by FQMG Process, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 24,1 (2011) 475–479.

Yazılan Uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

1. Ozen, A. Guner, A., Cakir, O., Tugcu, E., Soysal, B. ve Kaya, I., A Novel Approach for Blind Channel Equalization, Advanced Intelligent Computing Theories and Applications with Aspects of Artificial Intelligence Lecture Notes in Computer Science, 5227 (2008) 347–357.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Cakir, O., Yazgan, A. ve Kaya, I., Accuracy Comparison of Time Difference of Arrival Based Source Localization Methods, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2014, Berlin, 37: 301–304.
2. Cakir, O., Kaya, I. ve Yazgan, A., Propagation Speed Free Emitter Location Finding using TDOA, Telecommunications Forum, Kasım 2013, Belgrade, 21: 405–407.
3. Cakir, O., Kaya, I. ve Yazgan, A., Optimization of Receiver Arrangements for Emitter Location Finding using Time Difference of Arrival, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2013, Rome, 36: 376–379.
4. Cakir, O., Yazgan, A., Cakir, Ö., Tugcu, E. ve Kaya, I., Novel Composite Method for Determining The Location of The Transmitter Using Particle Swarm Optimization, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2012, Prague, 35: 335–339.
5. Cakir, O., Yazgan, A., Cakir, Ö., Tugcu, E. ve Kaya, I., Different Perspective of Time Difference of Arrival Averaging, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2012, Prague, 35: 344–347.
6. Yazgan, A., Cakir, O., Kaya, H. ve Cavdar, I. H., Optically Reconfigurable Fractal Antennas for RoF Systems, Telecommunications and Signal Processing, Temmuz 2012, Prague, 35: 233–236.
7. Cakir, Ö., Cakir F. ve Cakir, O., Variable Threshold Based Cutting Method for Virtual Surgery Simulations, International Symposium on Computer and Information Sciences, Eylül 2011, London, 26: 318–321.
8. Kutuk, S., Bolat, S., Ozturk, K., Akbulut, S. ve Cakir, O., Levitation Force Density in Different Thicknesses of YBa₂Cu₃O_{7-x} Bulk Superconductor Fabricated by FQMG Process, Nisan 2010, Antalya, 2: 25–30.
9. Cakir, O., Tugcu, E., Simsek, C., Yazgan, A. ve Kaya, I., Neural Network Based Learning and RF Probing Measurements using Non-Specific Mode Wave Guide, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Haziran 2009, Trabzon, 3: 342–348.
10. Cakir, Ö., Yazici, R. ve Cakir, O., Real-Time Cutting Simulation Based on Stiffness-Warped FEM, International Symposium on Computer and Information Sciences, Temmuz 2009, Güzelyurt, 24: 721–724.
11. Tugcu, E., Cakir, O., Guner, A., Ozen, A. ve Kaya, I., Comparative Study of Supervised and Blind Training Techniques for Communication Systems,

International Computer Instructional Technologies Symposium, Ekim 2009, Trabzon, Turkey, 3:.

12. Ozen, A., Guner, A., Cakir, O., Tugcu, E., Soysal, B. ve Kaya, I., A Novel Approach for Blind Channel Equalization, International Conference on Intelligent Computing, Eylül 2008, Shanghai, 1: 347–357.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Çakır, O., Kaya, İ. ve Çakır, Ö., Kaynak Konumlandırma Varyasyon Zamanları Farkı Setlerinin Konumlandırma Doğruluğu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2014, Trabzon, 22: 2249–2252.
2. Çakır, O. ve Kaya, İ., Verici Konumu Tespitinde Alıcı Dağılımının Konumlandırma Hatası Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2013, Girne, 21: 1–4.
3. Çakır, O., Çakır, Ö. ve Çakır F., Yeni ve Çok Düşük Maliyetli Bir Baskı Devre Hazırlama Yöntemi, Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, Aralık 2009, Ankara, 13: 1–4.
4. Çakır, O., Çakır Ö., Çakır, F., Özen, A. ve Kaya, İ., Pasif Tutarlı Konumlandırma Sistemlerinde TDOA Ölçüm Doğruluğunun Hedef Takibi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Aralık 2009, İstanbul, 3: 121–126.
5. Tuğcu, E., Çakır, O., Güner, A., Özen, A. ve Kaya, İ., Çok Taşıyıcılı WiMAX Radyoda Çift İkili Turbo Kodlayıcı ile Klasik Kodlayıcıların BER Başarım Analizleri, III. Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Aralık 2009, İstanbul, 3: 9–14.
6. Tuğcu, E., Çakır, O., Güner, A., Özen, A., Soysal, B. ve Kaya, I., Çok Taşıyıcılı Gerçek Zaman WiMAX Radyoda Zaman Bölgesi ve Frekans Bölgesi Kanal Denkleştiricilerin Teorik ve Deneysel BER Başarım Analizleri, İletişim Teknolojileri ve Ulusal Sempozyumu, Ekim 2009, Adana, 4: 31–36.
7. Özen, A., Güner, A., Çakır, O., Tuğcu, E., Soysal, B. ve Kaya, İ., Tek Taşıyıcılı Gerçek Zaman WiMAX Radyo için Kör Uyarlanırlı Denkleştirme Algoritmalarının Deneysel Başarımları, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2009, Antalya, 17: 472–475.
8. Kahveci, S., Safran, M., Çakır, O. ve Kaya, İ., Elektrokardiyogram İşaretinin Kablosuz İletimi, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Kongresi, Eylül 2005, İstanbul, 11: 86–90.

9. Kul, H., akır, O., Yüksel, M. S. ve avdar, İ. H., Uzaktan Bilgisayar Kontrollü RF Erişimli Sayısal Kontrol Sisteminin Gerçeklenmesi ve Başarım Analizi, Sinyal İşleme ve İletişim Kurultayı, 2002, Pamukkale, 10: 600–604.

dller

1. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uluslararası Bilimsel Yayınları Teşvik dl, 2013.