

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VARIŞ ZAMANLARI FARKI İLE VERİCİ KONUMU TESPİTİNDE
ALICI DİZİLERİNİN SEZGİSEL ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Meltem TEMİZKAN

**KASIM 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VARIŞ ZAMANLARI FARKI İLE VERİCİ KONUMU TESPİTİNDE
ALICI DİZİLERİNİN SEZGİSEL ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYONU**

Elektrik Elektronik Müh. Meltem TEMİZKAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 09 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 16 / 11 / 2021

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇAKIR

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı çerçevesinde hazırlanmış olan bu yüksek lisans tezinde alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonu kril sürüsü optimizasyonu (KSO) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca KSO ve PSO algoritmaları yakınsama hızı açısından birbirleriyle ve konumlandırma doğruluğu açısından da Cramer-Rao alt sınırı ile kıyaslanmıştır. KSO, ilk kez bu çalışmada varış zamanları farkı ile konumlandırmada alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda kullanılmıştır.

Tez çalışmam süresince, değerli fikirleri ve akademik desteğiyle bana daima yardımcı olan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇAKIR'a en içten şükranlarımı sunuyorum.

Tüm hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Meltem TEMİZKAN

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Varış Zamanları Farkı ile Verici Konumu Tespitinde Alıcı Dizilerinin Sezgisel Algoritmalarla Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇAKIR’ın 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. 16/11/2021

Meltem TEMİZKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Hedef Koordinatlarının Varış Zamanları Farkı ile Belirlenmesi	2
1.3. Verici Konumunun Varış Zamanları ile Bulunması	4
1.4. Teorik Karesel Hata Limiti	8
1.5. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	9
1.5.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun Tarihçesi	10
1.5.2. Temel Model	11
1.5.3. Atalet Ağırlığı	12
1.5.4. Öğrenme Faktörleri	13
1.6. Kril Sürüsü Optimizasyonu	15
1.6.1. Kril Sürülerinin Hareket Modeli	15
1.6.1.1. Diğer Krillerin Yol Açtığı Hareket	16
1.6.1.2. Arama Hareketi	18
1.6.1.3. Fiziksel Difüzyon	19
1.6.2. Kril Sürüsü Optimizasyonunun Algoritmasının Hareket Süreci	20
1.6.2. Genetik Operatörler	20
1.6.2.1. Çaprazlama	21
1.6.2.2. Mutasyon	21
1.6.3. Kril Sürüsü Optimizasyonunun Uygulanması	21

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	23
2.1.	Giriş	23
2.2.	Alıcı Dizisi Doğrultu Açısı Optimizasyonu	23
2.2.1.	Giriş	23
2.2.2.	Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Sabit Hedefin Konumlandırılması	29
2.2.3.	İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Sabit Hedefin Konumlandırılması	35
2.2.4.	Doğrusal Bir Rotada İlerleyen Vericinin Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması	39
2.2.5.	Doğrusal Bir Rotada İlerleyen Vericinin İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması	44
2.2.6.	Dairesel Bir Rotada İlerleyen Vericinin Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması	47
2.2.7.	Dairesel Bir Rotada İlerleyen Vericinin İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması	51
3.	SONUÇLAR	56
4.	ÖNERİLER	58
5.	KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

VARIŞ ZAMANLARI FARKI İLE VERİCİ KONUMU TESPİTİNDE ALICI DİZİLERİNİN SEZGİSEL ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYONU

Meltem TEMİZKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇAKIR
2021, 63 Sayfa

Elektromanyetik, sismik veya akustik yayılım yapan bir kaynağın konumu, geometrik olarak birbirlerinden ayrı yerleştirilmiş eşzamanlı alıcılarla tespit edilebilmektedir. Kaynaktan yayılan işaret eşzamanlı alıcılara farklı anlarda ulaştığı için varış zamanları farkı (VZF) ortaya çıkmaktadır. Alıcı tarafta oluşan zaman farkları kullanılarak, konum hatları tanımlanmakta ve kaynak bu konum hatlarının merkezinde konumlandırılmaktadır. VZF ile konum tespitinde yapılan hata, verici-alıcı geometrisine ve VZF kestirim hatasının varyansına bağlıdır. Aynı hedef noktası ve VZF kestirim hatası varyansı için iyi optimize edilmiş bir alıcı dizisi ile konum tespiti yapıldığında konumlandırma başarımı ciddi şekilde artmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonu parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve kril sürüsü optimizasyonu (KSO) ile yapılmıştır. Önerilen yöntemde, eş açılı dairesel alıcı dizisinin ve iki boyutlu alıcı dizisinin doğrultu açısı, KSO ve PSO algoritmalarında Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) uygunluk fonksiyonu olarak alınarak optimize edilmiş ve karesel konumlandırma hatasında belirgin bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca KSO ve PSO yöntemleri, yakınsama hızı açısından birbirleri ile ve konumlandırma doğruluğu açısından da CRAS ile kıyaslanmıştır. İlk kez bu yüksek lisans tezinde KSO algoritması, VZF ile konum tespitinde alıcı dizisi optimizasyonunda kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonu Varış zamanları farkı, Kaynak konumu tespiti, Cramer-Rao alt sınırı, Parçacık sürüsü optimizasyonu, Kril sürüsü optimizasyonu

MSc. Thesis

SUMMARY

OPTIMIZATION OF RECEIVER ARRAY WITH INTUITIVE ALGORITHMS IN TRANSMITTER LOCALIZATION USING TIME DIFFERENCE OF ARRIVALS

Meltem TEMİZKAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Oğuzhan ÇAKIR
2021, 63 Pages

The location of an electromagnetic, seismic, or acoustic source can be determined by synchronized receivers placed spatially apart from each other. Since the signal emitted from the source reaches the synchronized receivers at different times, the time difference of arrivals (TDOAs) arises. By using time differences formed on the receiving side, position lines are defined, and the source is positioned in the center of these position lines. The error in positioning with the TDOA depends on the transmitter-receiver geometry and the variance of the TDOA estimation error. Positioning performance is significantly improved when positioning is performed with a well-optimized receiver array for the same target coordinates and TDOA estimation error variance. In this master's thesis, receiver array direction angle optimization was performed with particle swarm optimization (PSO) and krill herd optimization (KHO). In the proposed method, the direction angle of the equiangular circular receiver array and the two-dimensional receiver array is optimized by taking the Cramer-Rao lower bound (CRLB) as a fitness function in the KHO and PSO algorithms, and a significant reduction in square positioning error is achieved. In addition, KHO and PSO methods were compared with each other in terms of convergence speed and with CRLB in terms of positioning accuracy. KHO algorithm was used in for the first time in this master's thesis the optimization of the receiver array direction angle in position detection with TDOA.

Key Words: Receiver array direction angle optimization, Time difference of arrivals, Source localization, Cramer-Rao lower bound, Particle swarm optimization, Krill swarm optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bağımsız VZF seti ve iki alıcı ile konum tespiti	2
Şekil 1.2. Bağımsız VZF seti ve üç alıcı ile konum tespiti	3
Şekil 1.3. Üç alıcı ile VZF tabanlı konum tespitinde ikinci hedef noktası	3
Şekil 1.4. Tam VZF seti ve üç alıcı ile konum tespiti.....	4
Şekil 1.5. VZ yöntemi ile tek alıcı için konum tespiti	5
Şekil 1.6. VZ seti ile iki alıcılı durum için konum tespiti	6
Şekil 1.7. VZ ile üç alıcılı durum için konum tespiti	6
Şekil 1.8. PSO algoritmasının basitleştirilmiş akış şeması.....	13
Şekil 1.9. PSO algoritmasında parçacıkların ilk yinelemedeki yerleşimleri	14
Şekil 1.10. PSO algoritmasında parçacıkların hedef etrafında kümelenmesi.....	14
Şekil 1.11. KSO algoritmasının akış diyagramı	22
Şekil 2.1. Alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda birinci adım	26
Şekil 2.2. DA optimizasyonunda birinci adımın akış şeması.....	27
Şekil 2.3. DA optimizasyonunda ikinci adımın akış şeması	28
Şekil 2.4. Alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda üçüncü adım	28
Şekil 2.5. Dört alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	32
Şekil 2.6. Beş alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	32
Şekil 2.7. Altı alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	33
Şekil 2.8. Yedi alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	33
Şekil 2.9. Sekiz alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	34

Şekil 2.10.	Dört alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) Doğrultu açısı optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	37
Şekil 2.11.	Beş alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) Doğrultu açısı optimizasyonu (c) Konumlandırma.....	37
Şekil 2.12.	Altı alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma	38
Şekil 2.13.	Yedi alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma	38
Şekil 2.14.	Sekiz alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri (a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma	39
Şekil 2.15.	EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi	40
Şekil 2.16.	EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen OKH eğrileri	42
Şekil 2.17.	EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri	42
Şekil 2.18.	İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi	45
Şekil 2.19.	İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen OKH eğrileri	46
Şekil 2.20.	İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri	47
Şekil 2.21.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi	48
Şekil 2.22.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen ortalama karesel hata eğrileri	50
Şekil 2.23.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri	51
Şekil 2.24.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi	52
Şekil 2.25.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen ortalama karesel hata eğrileri	54
Şekil 2.26.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri	55

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Alıcı sayısına göre VZ ve VZF tekniklerinin kıyaslanması	7
Tablo 2.1. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde PSO benzetim parametreleri	29
Tablo 2.2. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde KSO benzetim parametreleri	29
Tablo 2.3. EADAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	30
Tablo 2.4. EADAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	30
Tablo 2.5. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde benzetim sonuçları	31
Tablo 2.6. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde PSO benzetim parametreleri .	35
Tablo 2.7. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde KSO benzetim parametreleri .	35
Tablo 2.8. İBAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	36
Tablo 2.9. İBAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	36
Tablo 2.10. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde benzetim sonuçları	36
Tablo 2.11. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri	40
Tablo 2.12. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri	41
Tablo 2.13. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	41
Tablo 2.14. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	41
Tablo 2.15. Dört alıcılı EADAD ile doğrusal bir rota üzerinde ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri	43
Tablo 2.16. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri	44
Tablo 2.17. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri	44

Tablo 2.18.	İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	45
Tablo 2.19.	İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	45
Tablo 2.20.	Dört alıcılı İBAD ile doğrusal bir rota üzerinde ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri	46
Tablo 2.21.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri	48
Tablo 2.22.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri	49
Tablo 2.23.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	49
Tablo 2.24.	EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	49
Tablo 2.25.	Dört alıcılı EADAD ile dairesel bir rota üzerinde ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri	50
Tablo 2.26.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri	52
Tablo 2.27.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri	53
Tablo 2.28.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri	53
Tablo 2.29.	İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri	53
Tablo 2.30.	Dört alıcılı İBAD ile dairesel bir rota üzerinde ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri	54

SEMBOLLER DİZİNİ

CRAS	: Cramer-Rao alt sınırı
DG	: Diferansiyel gelişim
FBM	: Fisher bilgi matrisi
FG	: Farksal gelişim
GA	: Genetik algoritmalar
GİB	: Grafik işlemci birimi
KKF	: Kokusuz kalman filtresi
KSO	: Kril sürüsü optimizasyonu
PSO	: Parçacık sürüsü optimizasyonu
SCRAS	: Sonsal Cramer-Rao alt sınırı
SHV	: Sonlu hata varyansı
TKM	: Taylor katsayı matrisi
VD	: Varış doğrultusu
VZ	: Varış zamanı
VZF	: Varış zamanları farkı
c	: Sinyalin ortamdaki yayılma hızı
C	: Hızlanma sabiti
$C^{en\ iyi}$	: i . krile en iyi uygunluk değerine sahip krilin etki katsayısı
$C^{yiyecek}$	: Besin katsayısı
C_r	: Geçiş olasılığı terimi
C_1, C_2	: Öğrenme faktörü
d	: Arama uzayının boyutu
d_s	: Algılama mesafesi
$d_{s,i}$	: i . kril için algılama mesafesi
D_i	: Krillerin fiziksel yayılımı
D^{max}	: Maksimum difüzyon hızı
F_i	: Yiyecek arama hareketi
F_i^{eski}	: Son yiyecek arama hareketi
g_i	: Parçacığın sosyal çekicisi

$\mathbf{g}_i^t$	: En iyi uygunluk değerini tutan konum vektörü
$\mathbf{G}_t$	: Taylor katsayı matrisi
i	: Parçacık indisi
I	: Mevcut yineleme değeri
I_{max}	: En büyük yineleme sayısı
$K^{en\ iyi}$	: O ana kadar krillerin bulduğu en iyi uygunluk değeri
$K^{en\ kötü}$	: O ana kadar krillerin bulduğu en kötü uygunluk değeri
K_i	: i . krilin uygunluk ve hedef fonksiyonu
K_j	: j . komşunun uygunluk değeri
$K_{i,en\ iyi}$	: i . krilin önceden ziyaret ettiği en iyi pozisyon
$\hat{K}_{i,en\ iyi}$	: i . krilin önceden ziyaret ettiği en iyi kestirilen pozisyon
l	: Hedef ile alıcı arasındaki uzaklık
l_N	: Hedef ile N . alıcı arasındaki uzaklık
l_1	: Hedef ile referans alıcı arasındaki uzaklık
LB	: Alt sınırı
N	: Alıcı sayısı
NN	: Komşuların sayısı
NV	: Toplam değişken sayısı
N_i^{eski}	: Uyarılmış son hareket
N_i^{yeni}	: Uyarılmış yeni hareket
N^{max}	: Uyarılmış maksimum hız
M_u	: Mutasyon olasılığı
$\mathbf{p}_i$	: Parçacığın en iyi konum vektörü
$\mathbf{p}_{i1}$	: i . parçacığın d boyutlu arama uzayındaki 1. boyuttaki en iyi konumunu
r_i	: Hedef ile i . alıcı arasındaki uzaklık
R_i	: i . alıcı
$rand_1()$	: 0 ile 1 arasında düzgün dağılıma sahip rastgele bir gerçel sayı
$rand_2()$	: 0 ile 1 arasında düzgün dağılıma sahip bir gerçel sayı
t	: Yineleme sayısı
UB	: Üst sınırı
V_f	: Yiyecek arama hızı
$\mathbf{v}_i$	: i . parçacığın hız vektörü

v_i^t	: i . parçacığın t . yinelemedeki hızı
v_{i1}	: i . parçacığın d boyutlu arama uzayındaki 1. boyuttaki hızını
X	: Krillerin ilgili pozisyonlar
χ	: Atalet ağırlığı
$\hat{X}$	: Hedefin kestirilen koordinatları
$\mathbf{x}_i$	: i . parçacığın konum vektörü
$\mathbf{x}_i^t$	: i . parçacığın t . yinelemedeki konumu
x, y	: Hedef koordinatları
x_N, y_N	: N . alıcının konumu
$\hat{X}_{i,best}$	: i . krilin önceden ziyaret ettiği en iyi kestirilen koordinatı
α	: Ağırlıklandırma faktörü
α_i^{yerel}	: Komşular tarafından oluşturulan yerel etki
α_i^{hedef}	: En iyi kril tarafından oluşturulan hedef yön etkisi
$\beta_i^{en iyi}$	: i . krilin o ana kadarki en iyi uygunluk etkisi
$\beta_i^{yiyecek}$	: Çekici besin
δ	: Rastgele yönlü vektör
ε	: Pozitif bir reel sayı
Q	: Varış zamanları farkı kestirim hatası özdeğişinti matrisi
w_f	: $[0, 1]$ aralığında indüklenen hareketin atalet ağırlığı
Δ	: Gerçek varış zamanları farkı
Δ_{12}	: 1. ve 2. alıcı arasındaki zaman farkı
Δt	: Hız vektörünün ağırlıklandırma faktörü
Φ	: Fisher bilgi matrisinin tersi
$tr(.)$	: Matrisin köşegen elemanlarının toplamı
$(.)^{-1}$	: Matris tersi
$(.)^T$	: Devrik işlemi
μ	: Mikro
σ_d^2	: Varış zamanları farkı gürültüsünün değışintisi
ω_n	: $[0, 1]$ aralığında indüklenen hareketin atalet ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

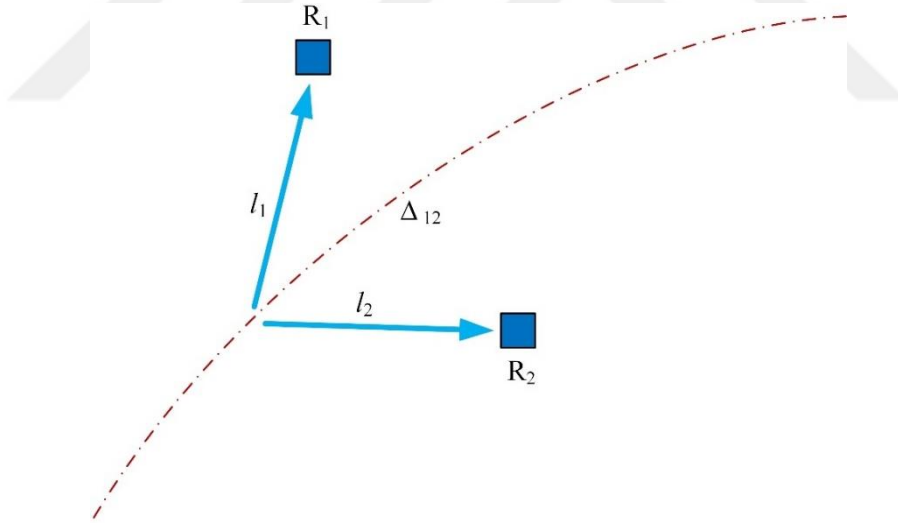
Bulunduğu ortama elektromanyetik, akustik veya sismik yayın yapan bir vericinin varış zamanları farkı (VZF) ile konum tespitinde yapılan konumlandırma hatası, varış zamanları farkının gürültüsüne [1, 2], verici-alıcı geometrisine [3, 4], verici ile alıcı arasındaki görüş durumuna [5, 6] ve kullanılan konumlandırma algoritmasına bağlıdır [7, 8]. Literatürde, VZF'nin kestirimine [9, 10] ve hedef koordinatlarının bulunmasına yönelik önerilen çok sayıda yöntem [11, 12] ve gerçekleştirilen birçok deneysel çalışma [13, 14] bulunmasına karşın verici-alıcı geometrisinin konumlandırma hatası üzerindeki etkisi yeterince araştırılmamıştır. Alıcı dizisi optimizasyonu yönelik mevcut çalışmalarda, belirsizlik alanı veya Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) azaltılarak veya Fisher bilgi matrisi (FBM) maksimize edilerek optimum alıcı geometrileri elde edilmiştir [15]. Ayrıca teorik karesel hata limitinin geometrik bir yaklaşımı ile vericinin konum, mesafe ve doğrultu eşik değişimlerini minimuma indirecek alıcı dizilimleri bulunmuştur [16, 17]. Optimum alıcı dizilerinin belirlenmesinde farklı geometrilere sahip iki boyutlu alıcı dizilerinin, CRAS [18] ve FBM üzerindeki etkileri analiz edilmelidir [19, 20]. Son yıllarda önemi ve kullanım alanları hızla artan kablosuz algılayıcı ağlarında optimum referans düğümün ve algılayıcı koordinatlarının bulunmasında da CRAS ifadesi uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmaktadır [21, 22]. Hedefin hareketli olduğu durumlarda ise optimum verici-alıcı geometrileri, CRAS değeri ve sonlu hata varyansı (SHV) ile bulunabilir [23] ve kokusuz kalman filtresi (KKF) kullanılarak, hareketli hedefler için optimum rotalar elde edilebilir [24].

Bu çalışmada alıcı dizisi optimizasyonu, kril sürüsü optimizasyonu (KSO) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile yapılmıştır. Alıcı dizileri, teorik karesel hata limiti ifadesi, sürü tabanlı sezgisel optimizasyon yöntemleri KSO ve PSO'da uygunluk fonksiyonu olarak alınarak, en iyileştirilmiş ve konumlandırma doğruluğunda belirgin bir artış sağlanmıştır. Ayrıca KSO ve PSO yöntemleri, yakınsama hızı açısından birbirleri ile ve karesel konumlandırma hatası açısından da CRAS ile kıyaslanmıştır. İlk kez bu çalışmada KSO algoritması VZF ile konum tespitinde ve alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda kullanılmıştır.

1.2. Hedef Koordinatlarının Varış Zamanları Farkı ile Belirlenmesi

Elektromanyetik, akustik veya sismik yayın yapan bir hedeften yayılan sinyal uzamsal olarak birbirlerinden ayrı konumlandırılmış eş zamanlı alıcılara farklı zamanlarda ulaşmaktadır. Alıcı taraftaki bu zaman farkları, varış zamanları farklı (VZF) olarak isimlendirilmektedir. Her bir zaman farkı matematiksel olarak bir hiperbolik konum hattını temsil etmektedir. Bu konum hatlarının kesiştiği nokta verici koordinatlarını vermektedir [25, 26]. VZF ile hedef konumunun tespitinde iki boyutlu düzlemde en az üç alıcı ve üç boyutlu uzayda ise en az dört eş zamanlı alıcı gereklidir.

Şekil 1.1’de iki alıcıya sahip bir konumlandırma sistemi görülmektedir. Sistem, iki alıcılı olduğu için denklem (1.1) ile ifade edilen tek varış zaman farkı ve tek hiperbolik konum hattı oluşmaktadır. Kaynak bu VZF’nin tanımladığı konum hattı üzerinde herhangi bir noktada bulunabileceği için konum tespiti yapmak mümkün değildir. Bu nedenle sisteme eş zamanlı üçüncü bir alıcı daha ilave etmek gerekmektedir.

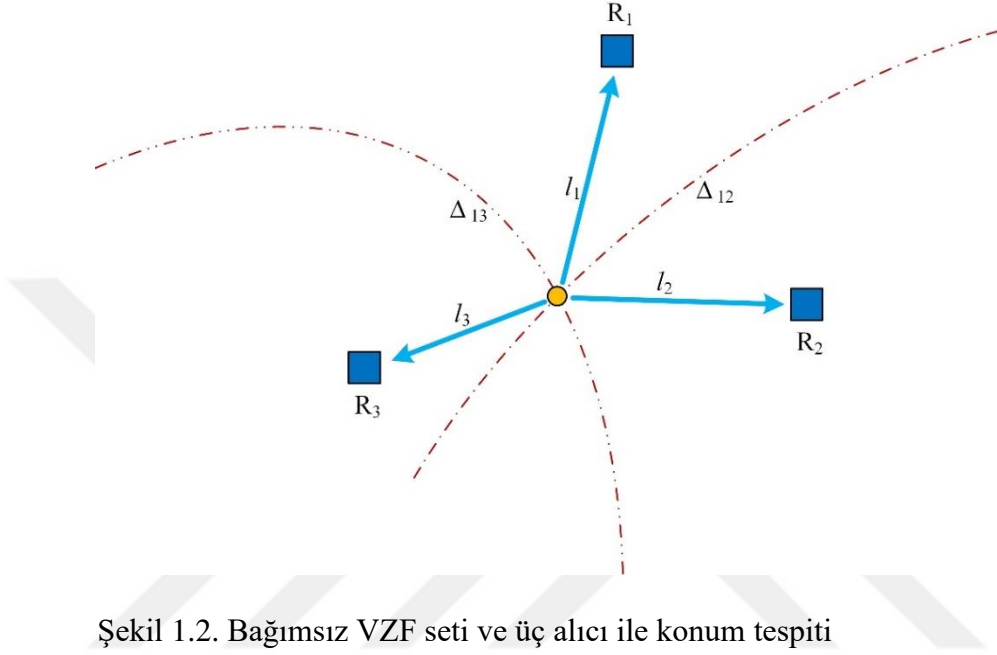


Şekil 1.1. Bağımsız VZF seti ve iki alıcı ile konum tespiti

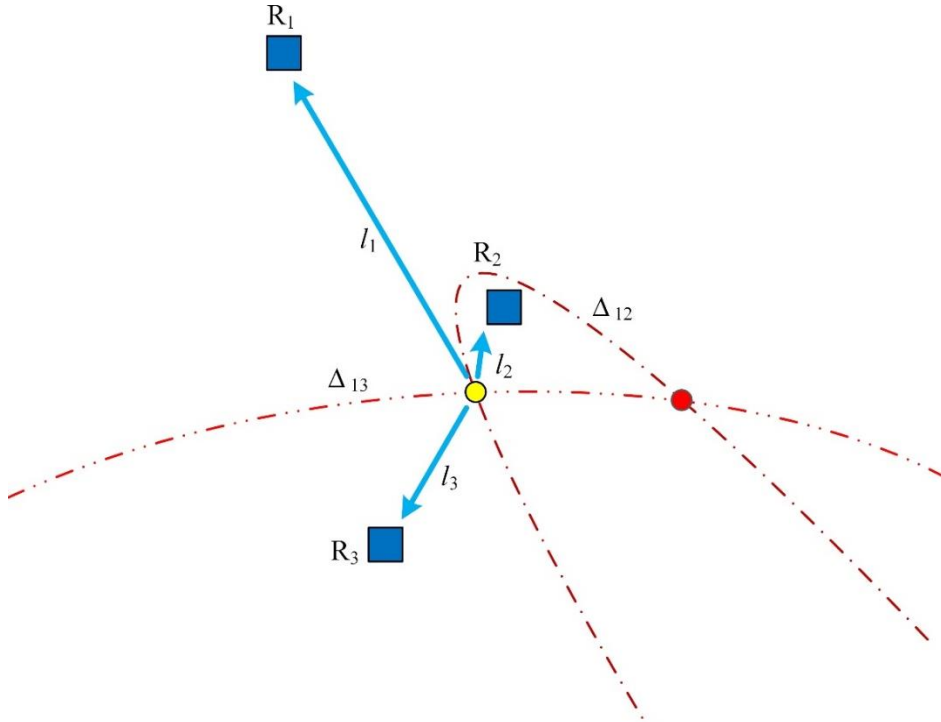
Şekil 1.1’de R_1 birinci alıcıyı, R_2 ikinci alıcıyı, l_1 hedef ile birinci alıcı arasındaki mesafeyi, l_2 verici ile ikinci alıcı arasındaki uzaklığı ve Δ_{12} birinci ve ikinci alıcı arasındaki zaman farkını göstermektedir.

$$\Delta_{12} = \frac{l_1 - l_2}{c} \quad (1.1)$$

Burada Δ_{12} , 1. ve 2. alıcı arasındaki zaman farkını, l , verici-alıcı arasındaki uzaklığı ve c , sinyalin ortamdaki yayılma hızını göstermektedir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi konumlandırma sistemine üçüncü alıcının eklenmesiyle genelde tek hedef noktası oluşmaktadır.

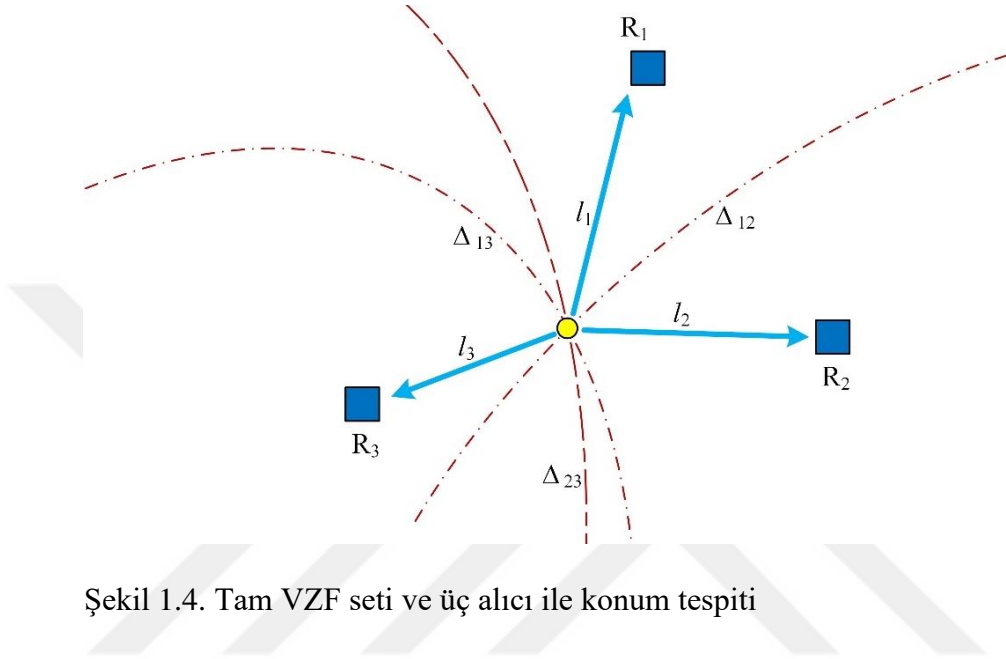


Şekil 1.2. Bağımsız VZF seti ve üç alıcı ile konum tespiti



Şekil 1.3. Üç alıcı ile VZF tabanlı konum tespitinde ikinci hedef noktası

Ancak bazı durumlarda verici-alıcı geometrisine bağılı olarak Şekil 1.3'te görüldüğü gibi ikinci bir hedef noktası da oluşabilmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için konumlandırma sistemine Şekil 1.4'te verildiği gibi dördüncü alıcının ilavesi zorunludur. Bu durumda oluşan zaman farkları denklem (1.2) ve denklem (1.3)'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Tam VZF seti ve üç alıcı ile konum tespiti

$$\Delta_{13} = \frac{l_1 - l_3}{c} \quad (1.2)$$

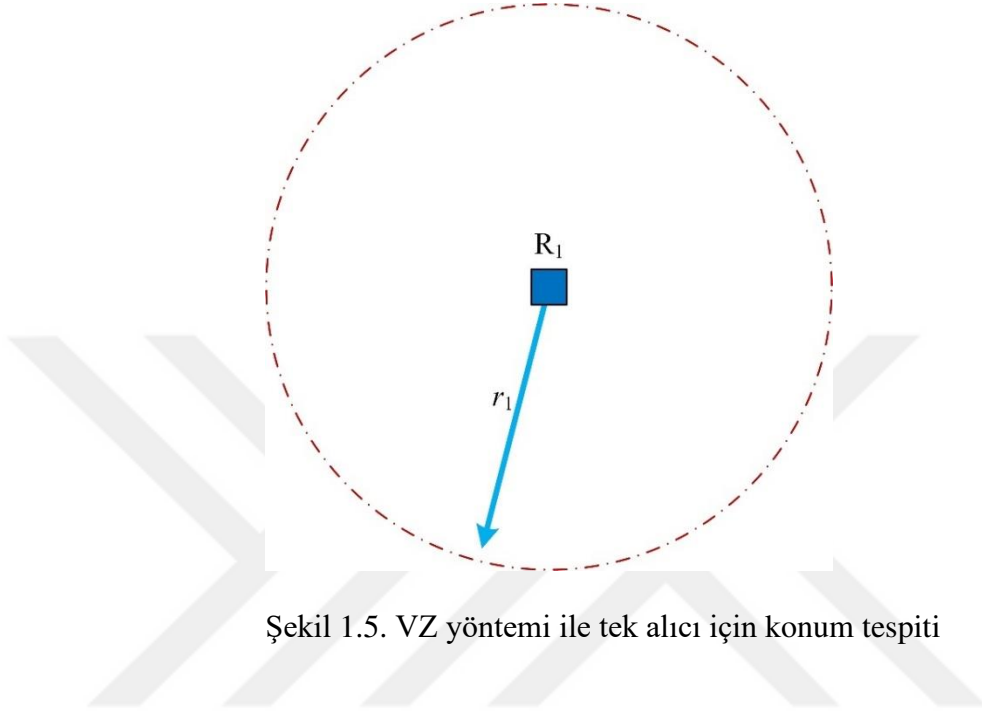
$$\Delta_{14} = \frac{l_1 - l_4}{c} \quad (1.3)$$

Alıcı tarafta VZF'ler elde edildikten sonra konum hatları tanımlanır. Bu konum hatlarının kesişim noktası doğrusal ve doğrusal olmayan konumlandırma algoritmaları ile bulunur [7, 8]. Literatürde VZF ile konum tespitine yönelik sezgisel optimizasyon yöntemi önerilmiştir.

1.3. Verici Konumunun Varış Zamanları ile Bulunması

Çoklu alıcılar ile konum tespitinde kullanılan yüksek doğruluklu diğer bir yöntem de varış zamanlarıdır (VZ). Bu teknikte her varış zamanı bir konum çemberini tanımlamakta ve bu çemberlerin kesişim noktası hedef koordinatlarını vermektedir.

Şekil 1.5'te tek alıcılı durum için VZ yöntemiyle konum tespiti veirlmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tek alıcı olduğu için tek varış zamanı oluşmaktadır. Bu nedenle hedef r_1 yarıçaplı daire üzerinde herhangi bir noktada bulunabilir.



Şekil 1.5. VZ yöntemi ile tek alıcı için konum tespiti

Şekil 1.5'te, r_1 yarıçaplı çember ile gösterilen konum hattı denklem (1.4)'teki gibi tanımlanmaktadır.

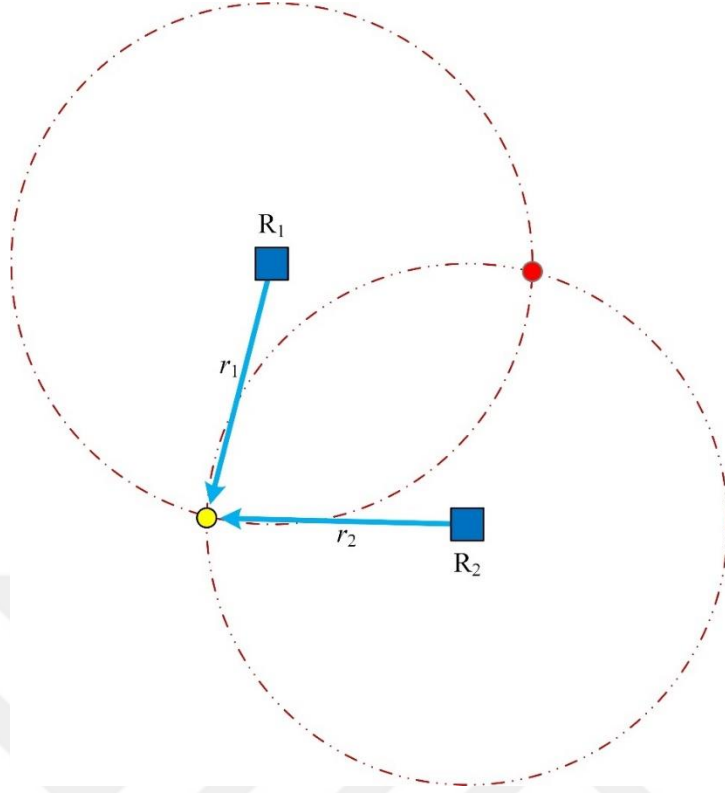
$$r_1 = c\tau_1 \quad (1.4)$$

Burada τ_1 hedeften yayılan işaretin alıcıya ulaşma zamanını ve c işaretin ortamdaki yayılım hızını göstermektedir.

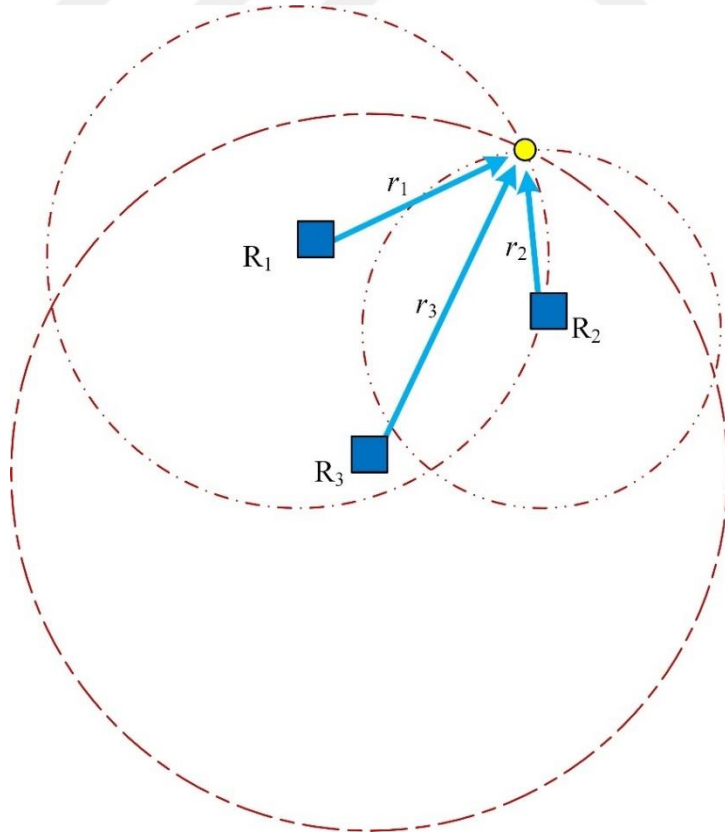
Şekil 1.6'da görüldüğü gibi alıcı sayısı iki olduğu durumda ise iki farklı hedef noktası oluşmaktadır. Şekilde, r_2 verici ile ikinci alıcı arasındaki mesafeyi temsil etmekte olup, denklem (1.5) ile tanımlanmaktadır.

$$r_2 = c\tau_2 \quad (1.5)$$

Konum tespiti yapabilmek için Şekil 1.7'de görüldüğü gibi en az üç alıcılı bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Şekilde, r_3 hedef ile üçüncü alıcı arasındaki uzaklığı ifade etmekte olup, denklem (1.6) kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 1.6. VZ seti ile iki alıcılı durum için konum tespiti



Şekil 1.7. VZ ile üç alıcılı durum için konum tespiti

$$r_3 = c\tau_3 \quad (1.6)$$

VZ ile konum tespitinde verici ile alıcıların eş zamanlanması veya verici sinyalinin alıcı tarafta biliniyor olması gerekmektedir. Bu gereklilikler VZ yönteminin, VZF tekniğine karşı en önemli eksikliğidir. Bu nedenle pasif radar uygulamalarında VZ kullanılamamaktadır. Buna karşın VZ yönteminde hedef konum çemberlerinin kesişim noktasında bulunduğu için daha güvenli olup, daha az sayıda alıcı ile verici koordinatları ile ilgili daha fazla bilgi sahibi olmak mümkündür. VZ ve VZF teknikleri kullanılarak konum tespitinde alıcı sayısına göre elde edilen konum bilgilerinin kıyaslanması Tablo 1.1’de görülmektedir.

Tablo 1.1. Alıcı sayısına göre VZ ve VZF tekniklerinin kıyaslanması

Alıcı Sayısı	Konumu Bilgisi	
	VZ Tekniği	VZF Tekniği
1	Verici bir daire üzerindeki herhangi bir noktada olabilir.	Koordinat bilgisi oluşmaz.
2	İki farklı hedef konumu oluşur.	Verici hiperbolik konum hattı üzerinde herhangi bir konumda bulunabilir.
3	Tek hedef konumu elde edilir.	Genelde tek hedef konumu bazı koşullarda ise verici-alıcı dizilimine bağlı olarak iki hedef konumu oluşur.
4	Tek hedef konumu elde edilir.	Tek hedef konumu elde edilir.

VZF ve VZ ile konum tespitinde yöntemler güvenilirlik açısından karşılaştırıldığında konum hatları önem kazanmaktadır. VZ yönteminde her varış zamanı bir dairesel konum hattına karşılık gelmektedir. Çember kapalı bir geometrik şekil olduğu için hedefin alıcılara olan uzaklığı yarıçap ile sınırlıdır. Ancak VZF yönteminde her VZF bir hiperbolik konum hattını tanımlamakta ve hiperbolün kolları asimptot doğruları arasında sonsuza kadar uzanmaktadır. Bu durum verici-alıcı geometrisinin uygun olmadığı veya VZF gürültüsünün yüksek olduğu durumlarda çok büyük konumlandırma hatalarına yol açmaktadır. Bu nedenle VZF ile konum tespitinde arama uzayı sınırlandırılmalıdır.

1.4. Teorik Karesel Hata Limiti

Kalıcı hata üretmeyen herhangi bir kestirim yönteminin erişebileceği en düşük karesel hata değeri, Cramer-Rao alt sınırı (CRAS) ile hesaplanmaktadır. Kestirim yönteminin teorik hata limitini (CRAS) bulmak için ilk olarak Fisher bilgi matrisi (FBM) tanımlanmalıdır. FBM bulunduğundan sonra bu matrisin köşegen elemanlarının toplamı CRAS değerini vermektedir. [27]'te verici-alıcı arasında doğrudan görüşün olduğu VZF tabanlı yöntemler için FBM'nin tersi denklem (1.7)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\Phi = c^2(G_t^T Q^{-1} G_t)^{-1} \quad (1.7)$$

Burada, Q VZF gürültüsü kovaryans, Φ FBM'nin tersini, G_t Taylor katsayı matrisini (TKM), $(.)^T$ devrik işlemini ve $(.)^{-1}$ matris tersini göstermektedir.

Birinci alıcının referans olarak seçildiği durumda iki boyutlu düzlemde TKM denklem (1.8) – denklem (1.10) ile hesaplanmaktadır.

$$G_t = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x}{l_1} + \frac{x - x_2}{l_2} & \frac{y_1 - y}{l_1} + \frac{y - y_2}{l_2} \\ \frac{x_1 - x}{l_1} + \frac{x - x_3}{l_3} & \frac{y_1 - y}{l_1} + \frac{y - y_3}{l_3} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_1 - x}{l_1} + \frac{x - x_N}{l_N} & \frac{y_1 - y}{l_1} + \frac{y - y_N}{l_N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 2} \quad (1.8)$$

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \quad (1.9)$$

$$l_N = \sqrt{(x_N - x)^2 + (y_N - y)^2} \quad (1.10)$$

Burada, (x_1, y_1) birinci alıcının koordinatlarını, (x_N, y_N) N . alıcının konumunu, (x, y) hedef koordinatlarını, l_N verici ile N . alıcı arasındaki uzaklığı ve l_1 hedef ile referans alıcı arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Verici ile alıcı arasında doğrudan görüş olduğu durumda denklem (1.11)'de görüldüğü gibi Q matrisinin köşegen elemanları 1,0 ve diğer elemanları 0,5 alınabilir [27].

$$Q = \sigma_d^2 \begin{bmatrix} 1,0 & \dots & 0,5 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0,5 & \dots & 1,0 \end{bmatrix}_{N-1 \times N-1} \quad (1.11)$$

Burada, σ_d^2 VZF gürültüsünün değışintisini ve N alıcı sayısını temsil etmektedir. Denklem (1.7) – denklem (1.11) kullanılarak FBM’nin tersi bulunduktan sonra denklem (1.12)’de verildiğı gibi bu matrisin köşegen elemanları toplanarak CRAS değeri hesaplanmaktadır. CRAS, hata tabanı bulunmaya bir kestirim tekniğinin erişebileceğı en düşük karesel hata değeri olup, pozitif bir gerçel sayıdır.

$$CRAS = tr(\Phi) \quad (1.12)$$

Burada, $tr(.)$ operatörü matrisin köşegen elemanlarının toplamı işlemini ifade etmektedir.

1.5. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Son yıllarda grafik işlemci biriminin (GİB) ortaya çıkışı ile birlikte hesaplmalı zekâ alanında eşı benzeri görülmemiş bir gelişme yaşanmıştır. Aynı zamanda çözülecek problemin niteliğı hakkında çok az veya hiç varsayımda bulunmayan güçlü optimizasyon yöntemleri ortaya çıkmıştır. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), bu optimizasyon yöntemlerinden biridir.

PSO, sürü halinde yer değıştiren canlıların besin bulma, avlanma, barınma gibi temel gereksinimlerini temin ederken sergiledikleri davranışlarının, kümedeki diğer bireylerin hareketlerini etkilediğinin ve sürünün hedefine daha rahat eriştiğinin gözlemlenmesinden yola çıkılarak, 1995 yılında geliştirilen bir optimizasyon yöntemidir. PSO kötü yapılandırılmış sürekli ya da ayırık, kısıtlı veya kısıtlanmamış fonksiyon optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [28]. Genetik algoritma (GA) [29] ve diferansiyel gelişim (DG) [30] gibi popüler gelişimsel hesaplama algoritmaları, olasılık tabanlı geçiş kurallarını uygun şekilde kullanılmaktadırlar. Geçiş kurallarının dayandığı temel fiziksel model, kuş ve balık sürülerinin sosyal etkileşiminin dışında ortaya çıkan müşterek davranışlardan biridir. PSO, 1995 yılında önerildiğinden bu yana, geleneksel yaklaşımların başarısız olduğu veya sınırlı yararlılık sağladığı, giderek artan bir dizi karmaşık optimizasyon problemlerinde kullanılmıştır. Sezgisel olarak basit tanımı ve

nispeten az sayıda ayarlanabilir parametre içermesi PSO'yu belirli bir dereceye kadar yaklaşık çözümler gerektiren birçok problem için popüler bir çözüm yöntemi haline getirmiştir. Bununla birlikte, temel PSO algoritmasının yerel minimuma yakınsama gibi önemli bir eksikliği bulunmakta olup, literatürde bu eksiklikleri gidermeye yönelik çok sayıda çalışma yer almaktadır [31, 32].

1.5.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun Tarihçesi

Doğal bir bilgi işlem paradigmasındaki parçacıklar, genellikle üst düzey hedefin hiçbir algısı olmayan, ancak karmaşık gerçek dünya sistemlerini modelleyebilen merkezi olmayan varlıklardır. Parçacıklar bir araya geldiğinde, görünüşte belirsiz ve etkili olmayan tekil ajanlardan kaynaklanan anlamlı ortaklaşa davranışları kolaylaştıran birkaç düşük seviyeli ifade ile tanımlanmaktadır. Gelişim sürecinde, ajanlar veya parçacıklar üretilir, dönüşümlere uğrar ve benzetim ortamında hareket ederek sonunda reddedilir veya ölürler [33]. Reynolds'un boid modelinden sonraki çalışmaları, parçacık davranışının özerkliğini arttıran ve boidlerin (kuş-oid nesneleri) veya parçacıkların ortaya çıkan davranışına yol açabilecek basit ve düşük seviyeli kurallar oluşturmuştur [34]. Bu nedenle boid modelinin karmaşıklığı tek tek parçacıklar arasındaki basit etkileşimlerin doğrudan bir türevidir. Reynolds, bir parçacığın takip etmesi için üç farklı kural tanımlamıştır. Bunlar; ayırma, hizalama ve uyumdur. Ayırma prensibi, parçacıkların kalabalıklaşmayı önlemek için birbirlerinden uzaklaşmasını sağlamaktadır. Hizalama ve uyum ilkeleri ise hedef konumuna doğru bir hareket oluşturmak için yönlü güncellemeleri içermektedir. Boidlerin doğal olmayan doğrusallık özelliği, grup dinamiklerinde kaotik davranış gösterirken, basit ve düşük seviyeli kuralların getirdiği olumsuz geri besleme ve sıralı davranışlara karşı etkilidir. Bununla birlikte Reynolds, hedef bölgedeki sınırlar arasında bilgi alışverişi sağlayan bir komşuluk modeli önermiş ve böylece karmaşıklığı düşürerek ve yöntemi hızlandırmıştır.

PSO algoritması 1995 yılında Reynolds'un çalışmalarının bir uzantısı olarak Eberhart ve Kennedy tarafından önerilmiştir. En yakın komşu, hız eşleştirmesi yoluyla yerel bilgi alışverişine dahil edilerek yöntem geliştirilmiştir. Böylece parçacıkların hızlarında, yeterli miktarda değişim ve ardından sürünün yaşam dinamiklerini ortaya çıkaran rastgele bir hareket ortaya çıkmıştır.

1.5.2. Temel Model

PSO'nun ana arama mekanizması, arama uzayındaki konumlarını yinelemeli olarak güncelleyen ve parçacık adı verilen bireylere dayanmaktadır. Her parçacık arama uzayında ziyaret ettikleri en iyi konumu saklar. Ayrıca her parçacığın hareketinde, diğer parçacıklar tarafından keşfedilen arama uzayı bölgelerinin bilgisine ilave olarak kendi bulgularına göre değişken davranışlar gösterebilen bir hareket mekanizması bulunmaktadır. Bu örtülü bilgi alışveriş şeması, sürü olarak adlandırılan tüm grubun çözüm etrafında yakınsamasını sağlamaktadır.

Her parçacık dört temel vektör ile tanımlanmaktadır. İlk vektör, parçacıkların arama uzayındaki t . yinelemedeki konumunu tutar ve denklem (1.13)'te ki gibi ifade edilir.

$$\mathbf{x}_i^t = (x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{id}^t) \quad (1.13)$$

Burada $\mathbf{x}_i$, i . parçacığın konum vektörü, i parçacık indisi, d arama uzayının boyutu ve x_{i1} i . parçacığın d boyutlu arama uzayındaki birinci boyuttaki konumunu göstermektedir.

İkinci vektör, parçacığın hareketinden sorumlu olan hız olarak adlandırılan uyarlanabilir bir konum değişimi olup, denklem (1.14)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mathbf{v}_i^t = (v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{id}^t) \quad (1.14)$$

Burada $\mathbf{v}_i$ i . parçacığın konum vektörü, i parçacık indisi, d arama uzayının boyutu ve v_{i1} i . parçacığın d boyutlu arama uzayındaki birinci boyuttaki hızını temsil etmektedir.

Üçüncü vektör ise denklem (1.15) ile tanımlanan parçacığın en iyi konumudur. Başka bir ifade ile parçacığın mevcut yinelemeye kadar arama uzayında ziyaret ettiği en iyi konumdur.

$$\mathbf{p}_i^t = (p_{i1}^t, p_{i2}^t, \dots, p_{id}^t) \quad (1.15)$$

Burada $\mathbf{p}_i$ i . parçacığın en iyi konum vektörü, i parçacık indisi, d arama uzayının boyutu ve p_{i1} i . parçacığın d boyutlu arama uzayındaki 1. boyuttaki en iyi konumunu temsil etmektedir.

PSO algoritmasında parçacıkların anlık konumları ve hızları her yinelemede denklem (1.16) ve denklem (1.17) ile güncellenmektedir.

$$v_{ij}^{t+1} = \chi v_{ij}^t + C_1 \text{rand}_1() (p_{ij}^t - x_{ij}^t) + C_2 \text{rand}_2() (g_{ij}^t - x_{ij}^t) \quad (1.16)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + v_{ij}^t \quad (1.17)$$

Burada χ atalet ağırlığı, C_1 ve C_2 öğrenme faktörleri, $\text{rand}_1()$ ve $\text{rand}_2()$ 0 ile 1 arasında düzgün dağılıma sahip rastgele bir reel sayı ve g_i^t tüm parçacıkların t . yinelemeye kadar ulaştıkları en iyi uygunluk değerini tutan konum vektörüdür.

Parçacığı mevcut hızı ve konumu güncellendikten sonra en iyi konumu denklem (1.18) ile hesaplanmaktadır.

$$p_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^{t+1}, & \text{eğer } f(x_i^{t+1}) \leq f(p_i^t) \\ p_i^t, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.18)$$

Algoritma önceden tanımlanmış bir durdurma koşulu sağlanana kadar koşturulur ve durma koşulu sağlandığında g_i^t problemin çözümünü verir.

1.5.3. Atalet Ağırlığı

Keşif ve sömürü arasında en uygun dengeyi sağlamak için bir atalet ağırlığının χ kullanımının gerekmektedir [35, 36]. Atalet ağırlığı denklem (1.19) ve denklem (1.20) ile tanımlanmaktadır.

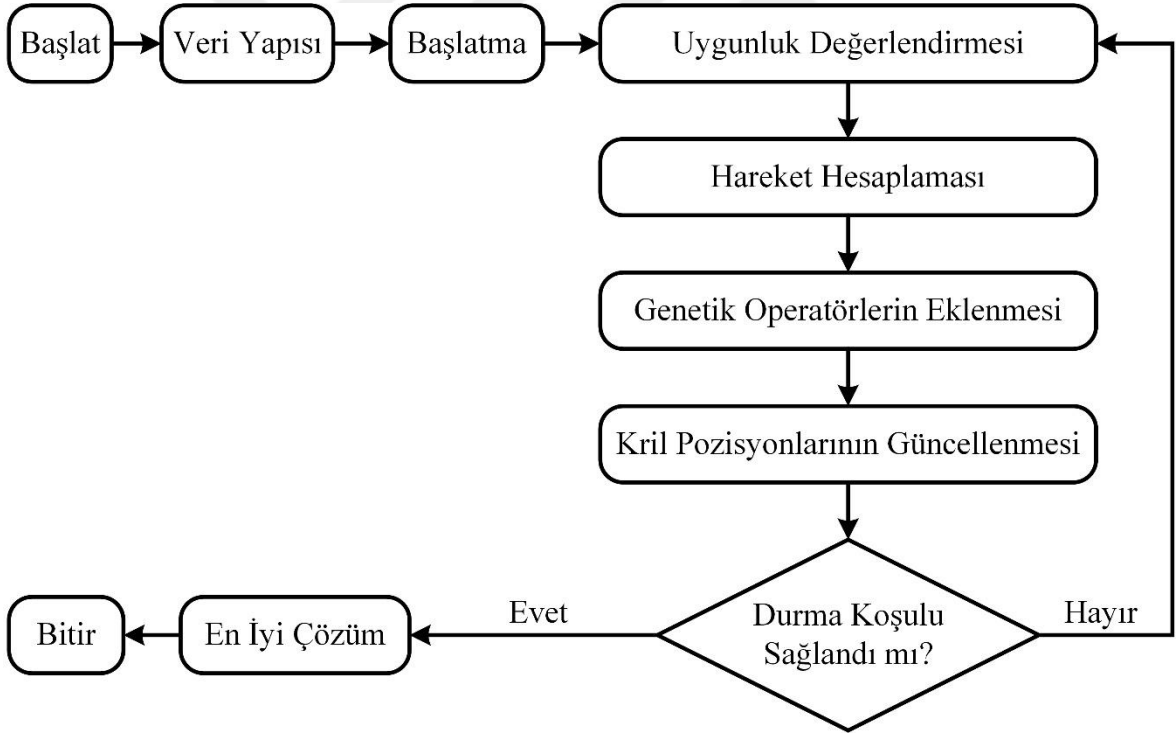
$$\chi = \frac{2\alpha}{|2 - C - \sqrt{C(C - 4)}|} \quad (1.19)$$

$$C = C_1 + C_2 \quad (1.20)$$

Burada C hızlanma sabiti, α ağırlıklandırma faktörü ve C_1 ve C_2 öğrenme faktörleridir. Benzetimlerde $C \leq 4$ ve $0 \leq \alpha \leq 1$ seçilmesi önerilmektedir. Atalet ağırlığı ile yineleme sayısı arttıkça parçacıkların hızı düşeceği için daha hassas arama yapmak mümkün olmaktadır.

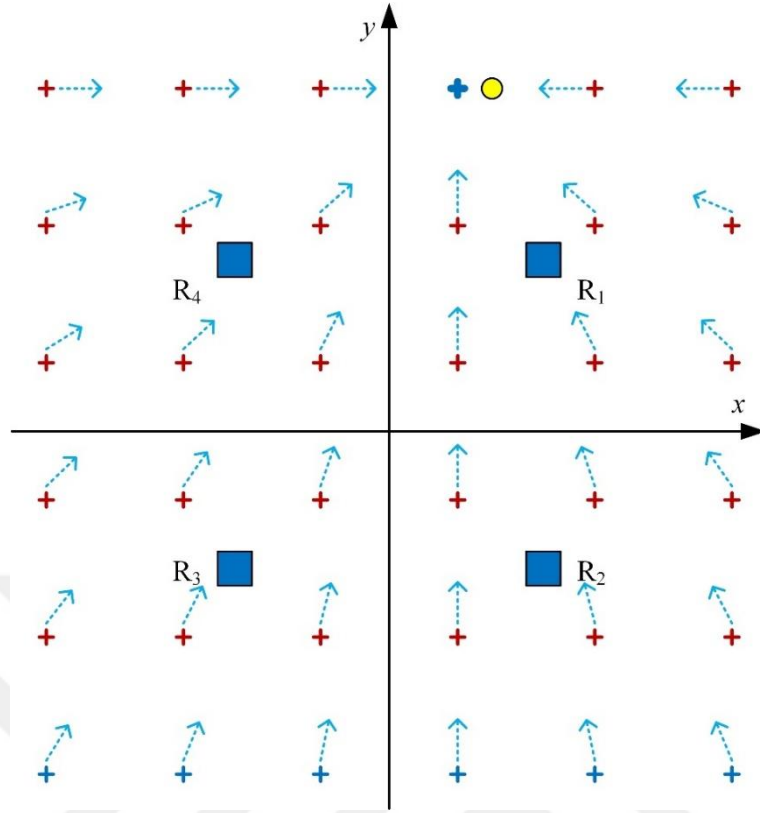
1.5.4. Öğrenme Faktörleri

C_1 ve C_2 öğrenme faktörleri, $rand_1()$ ve $rand_2()$ rastgele reel sayı vektörleri ile çarpıldığında sürünün hızı üzerinde kontrol edilebilir stokastik etkiler oluşturur. Basitçe ifade etmek gerekirse öğrenme faktörleri bir parçacığın bilişsel çekicisine (p_i) veya onun sosyal çekicisine (g_i) doğru ne kadar hareket etmesi gerektiğini belirleyen ağırlıklardır. Parçacıklar arasında bilgi alışverişi, onların doğal olarak işbirlikçi oldukları anlamına gelir. Bu nedenle hızlandırma katsayılarının tarafsız bir seçiminin parçacıkları eşit hale getireceği anlamını taşır. Özel uygulamalar için tek tek parçacıkların yalnızca kendi bilgilerine dayanabileceği ya da tek tek parçacıkların sadece tüm kümedeki en iyi parçacık bilgisine dayanabileceği sonucu $C_1 = 0$ ya da $C_2 = 0$ ayarlaması ile yapılabilir. Şekil 1.8’de PSO algoritmasının basitleştirilmiş akış şeması verilmiştir.

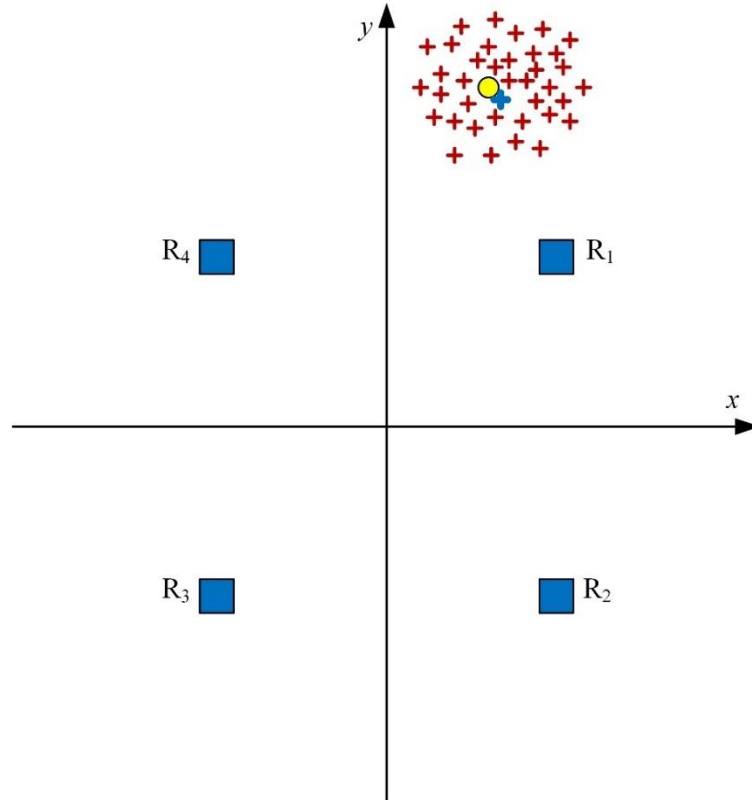


Şekil 1.8. PSO algoritmasının basitleştirilmiş akış şeması

PSO’da parçacıklar Şekil 1.9’da görüldüğü gibi arama uzayına eşit aralıklarla yerleştirilir. Yineleme sayısı arttıkça parçacıklar Şekil 1.10’da görüldüğü gibi hedef noktası etrafında kümelenmeye başlar. Durma koşulu sağlandığında, sürünün en iyi uygunluk değerine sahip parçacığının konumu problemin çözümünü vermektedir.



Şekil 1.9. PSO algoritmasında parçacıkların ilk yinelemedeki yerleşimleri



Şekil 1.10. PSO algoritmasında parçacıkların hedef etrafında kümelenmesi

1.6. Kril Sürüsü Optimizasyonu

Bazı deniz canlılarında grupların oluşumu rastgele bir süreç değildir. Literatürdeki birçok çalışma, bu grupların meydana gelmesini yöneten ve altta yatan mekanizmaları bulmaya odaklanmıştır [36, 37]. Bulunan ana mekanizmalar gelişmiş üreme, beslenme becerisi, avcılardan sakınma ve çevresel koşullar ile etkileşimdir [38]. Bazı matematiksel modeller deneysel izlenimlere dayanan bu mekanizmaların kısmi etkilerini değerlendirmek için üretilmişlerdir [36, 37].

Antarktika krilleri üzerlerinde en çok çalışılan bilimsel araştırma yapılan deniz hayvanlarından biridir. Bu türün temel özelliklerinden biri büyük sürüler oluşturabilme yeteneğidir [39, 40]. Son yıllarda krillerin dağılımını ve ekolojisini anlamak için fazla sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Kril sürüsünün düzenini belirleyen kuvvetler ile ilgili hala dikkate alınması gereken belirsizlikler olmasına rağmen [41], kavramsal modeller kril sürülerinin gözlemlenen oluşumlarını açıklığa kavuşturma için geliştirilmiştir [42]. Bu modellerden elde edilen bulgular, kril kümelerinin bu tür için temel organizasyon birimini meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Kril sürülerinin ortaya çıkışını daha iyi kavramak için kümelenme oluşumunun uyarlanabilir artıları olan faktörler ve sebepler analiz edilmelidir [43].

Deniz kuşları, foklar veya penguenler gibi yırtıcı hayvanlar krillere saldırarak hedeflerindeki krilleri kümeden çıkartmaya çalışırlar. Bu durum kril yoğunluğunun düşmesine yol açar. Avlanmanın ardından kril kümelerinin oluşumu birçok parametreye dayanmaktadır. Kril sürüleri iki ana amacı içeren çoklu hedefli bir topluluktur. Bunlar:

1. Kril yoğunluğunu yükseltmek ve
2. Besine ulaşmaktır.

Literatürdeki çalışmalarda krillerin bu davranışı, küresel optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir meta-sezgisel algoritma olarak ortaya çıkmıştır. Kril yoğunluğuna bağlı çekicilik ve yiyecek bulma özelliği, krillerin küresel minimumlar etrafında sürü halinde toplanmasını sağlamaktadır. Bu süreçte kril her besini ve en yüksek yoğunluğu ararken en optimum çözüme doğru yaklaşır. Yani besine ve yüksek yoğunluğa olan uzaklık ne kadar az ise amaç fonksiyonunun değeri o kadar az olur. Genelde bazı katsayılar ile tek bir hedef için çok hedefli sürü davranışları ortaya koyabilirler.

1.6.1. Kril Sürülerinin Hareket Modeli

Yırtıcı hayvanlar krilleri birbirlerinden uzaklaştırır ve ortalama kril yoğunluğunun azalmasına yol açarlar. Aynı zamanda sürüyü yemek yerinden uzaklaştırır. Bu süreç kril

sürüsü optimizasyonunun (KSO) başlatma aşaması olarak kabul edilir. Doğal sistemde, her bireyin uygunluk değeri yiyeceğe olan uzaklığının ve kril sürüsünün en büyük yoğunluğunun bir kombinasyonudur. Dolayısıyla uygunluk nesnel işlevin değeridir. Her krilin iki boyutlu düzlemde, zamana bağlı konumu üç ana eyleme göre belirlenir [38]. Bunlar:

1. Diğer krillerin sebep olduğu yer değişimi,
2. Arama faaliyeti ve
3. Rastgele yayılmasıdır.

Her optimizasyon yönteminde isteğe bağlı boyutsallık alanlarını arayabilme becerisinin olması gerekmektedir. Bu gereklilik denklem (1.21) ile tanımlanmaktadır.

$$\frac{dX_i}{dt} = N_i + F_i + D_i \quad (1.21)$$

Burada N_i diğer kriller tarafından uyarılmış hareket, F_i yiyecek arama hareketi ve D_i krillerin fiziksel yayılmasıdır.

1.6.1.1. Diğer Krillerin Yol Açtığı Hareket

Teorik argümanlara göre kriller, karşılıklı etkilerden dolayı yüksek yoğunluğu korumaya ve hareket etmeye çalışırlar [38]. Hareketin uyarılmış yönü, α_i yerel sürü yoğunluğu ile hedef ve itici bir sürü yoğunluğundan hesaplanır [38]. Bir kril için bu yer değişimi denklem (1.22) ve denklem (1.23) ile ifade edilir.

$$N_i^{yeni} = N^{max} \alpha_i + \omega_n N_i^{eski} \quad (1.22)$$

$$\alpha_i = \alpha_i^{yemel} + \alpha_i^{hedef} \quad (1.23)$$

Burada N^{max} uyarılmış maksimum hız, ω_n [0, 1] aralığında uyarılmış hareketin atalet ağırlığı, N_i^{eski} uyarılmış son hareket, α_i^{yemel} komşular tarafından sağlanan yerel etki ve α_i^{hedef} en iyi krile göre belirlenen hedef yön etkisidir. Literatürde maksimum uyarılmış hızın $0,01 (ms^{-1})$ seçilmesi önerilmektedir [38].

Komşuların krillerin etkisi, lokal bir arama için bireyler arasında çekici/itici bir eğilim olarak varsayılır. KSO’da bu hareket denklem (1.24) – denklem (1.26) ile belirlenir.

$$\alpha_i^{yere} = \sum_{j=1}^{NN} \hat{K}_{ij} \hat{X}_{ij} \quad (1.24)$$

$$\hat{X}_{ij} = \frac{X_j - X_i}{||X_j - X_i|| + \epsilon} \quad (1.25)$$

$$\hat{K}_{ij} = \frac{K_i - K_j}{K^{en\ köt\ddot{u}} - K^{en\ iyi}} \quad (1.26)$$

Burada $K^{en\ iyi}$ ve $K^{en\ köt\ddot{u}}$ krillerin mevcut yinelemeye kadar bulduğu en iyi ve en kötü uygunluk değerlerini, K_i i . krilin uygunluk ve hedef fonksiyonunu, K_j j . komşu krilin uygunluk değerini, X ilgili pozisyonları ve NN komşu krillerin sayısını ifade eder. Tekillikten oluşmaması için paydaya küçük bir pozitif sayı (ϵ) ilave edilmelidir.

Komşu krilleri seçmek için farklı stratejiler kullanılabilir. Örnek olarak komşu oranı, en yakın krillerin sayısını bulmak için tanımlanabilir. Krillerin gerçek davranışlarından faydalanılarak, algılama mesafesi (d_s) belirlenmeli ve komşu kriller tespit edilmelidir.

Her bir kril için algılama mesafesi denklem (1.27) ile hesaplanmaktadır.

$$d_{s,i} = \frac{1}{5N} \sum_{j=1}^N ||X_i - X_j|| \quad (1.27)$$

Burada $d_{s,i}$ i . kril için algılama uzaklığı ve N kril sayısıdır. Paydadaki beş katsayısı deneysel olarak bulunmuştur. Denklem (1.22) ile iki krilin arasındaki uzaklık belirlenen algılama uzaklığından yakın ise bunlar komşu olarak tanımlanır.

Her krilin bilinen hedef vektörü, o krilin en küçük uygunluk değeridir. i . kril üzerindeki en iyi uygunluk değeri ve en iyi uygunluk değerine sahip krilin etkisi denklem (1.28) ile tanımlanır ve krilin global minimuma yakınsamasını sağlar.

$$\alpha_i^{hedef} = C^{en\ iyi} \hat{K}_{i,en\ iyi} \hat{X}_{i,en\ iyi} \quad (1.28)$$

Burada $C^{en\ iyi}$ i . krile en iyi uygunluk değerine sahip krilin etkisinin ağırlıklandırma sabiti olup, denklem (1.29)’da verildiği gibi tanımlanır.

$$C^{en iyi} = 2 \left(rand + \frac{I}{I_{max}} \right) \quad (1.29)$$

Burada $rand$ 0 ile 1 arasında rasgele dağılımlı rastgele bir gerçel sayı, I mevcut yineleme değeri ve I_{max} en büyük yineleme sayısıdır.

1.6.1.2. Arama Hareketi

Arama hareketi, iki ana etkin bilene göre formülize edilmektedir. Birincisi yemek konumu ve ikincisi yemek konumu ile ilgili önceki deneyimdir. Bu yer değişimi i . kril için denklem (1.30) ve denklem (1.31)'de verildiği gibi tanımlanır.

$$F_i = V_f \beta_i + \omega_f F_i^{eski} \quad (1.30)$$

$$\beta_i = \beta_i^{yiyecek} + \beta_i^{en iyi} \quad (1.31)$$

Burada F_i^{eski} en son besin arama hareketi, V_f besin arama hızı, W_f [0, 1] aralığında besin arama hareketinin atalet ağırlığı, $\beta_i^{yiyecek}$ çekici besin ve $\beta_i^{en iyi}$ i . krilin o ana kadarki en iyi uygunluk değeridir. Literatürde, arama hızının $0,02 \text{ (ms}^{-1}\text{)}$ alınması önerilmektedir [44].

Yiyecek etkisi, krilin bulunduğu konuma göre tanımlanır. Önce yiyeceğin merkezi bulunmalı ve ardından yiyecek çekiciliğinin matematiksel ifadesi çıkartılmalıdır. KSO algoritmasında yiyecek yoğunluğunun sanal merkezi, kütle merkezinden esinlenerek krillerin uygunluk değerlerinin dağılımına göre kestirilmektedir. Her yineleme için yiyecek merkezi denklem (1.32) ile bulunmaktadır. i . kril için besin çekiciliği ise denklem (1.33) ile hesaplanmaktadır.

$$X^{yiyecek} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} X_i / \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} \quad (1.32)$$

$$\beta_i^{yiyecek} = C^{yiyecek} \hat{K}_{i,yiyecek} \hat{X}_{i,yiyecek} \quad (1.33)$$

Burada $C^{yiyecek}$ yiyecek katsayısıdır. Zamanla krill sürüsünde yiyecek etkisi azaldığı için besin katsayısı denklem (1.34) ile hesaplanır.

$$C^{yiyecek} = 2(1 - \frac{I}{I_{max}}) \quad (1.34)$$

Yiyecek çekiciliği, kril sürüsünü global optimuma çekmek için tanımlanmıştır. Böylece kriller normalde belirli bir yinelemenin ardından global optimum etrafında kümelenirler. Bu durum KSO'nun globalliğini arttırmaya yardımcı olan etkin bir küresel optimizasyon stratejisi olarak kabul edilebilir. i . krilin en iyi uygunluk değerinin etkisi de denklem (1.35) ile bulunur.

$$\beta_i^{en iyi} = \hat{K}_{i,en iyi} \hat{X}_{i,en iyi} \quad (1.35)$$

Burada $K_{i,en iyi}$ i . kril tarafından daha önce ziyaret edilen en iyi pozisyonudur.

1.6.1.3. Fiziksel Difüzyon

Krillerin geometrik dağılımı rastgele bir süreç şeklinde tanımlanabilir. Bu hareket, rastgele yön vektörü ve en büyük difüzyon hızı ile tanımlanmakta olup, denklem (1.36) ile tanımlanmaktadır.

$$D_i = D^{max} \delta \quad (1.36)$$

Burada D^{max} maksimum difüzyon hızı ve δ rastgele yönlü vektördür. Literatürde krillerin maksimum difüzyon hızı için $0.002 \text{ ms}^{-1} \leq D^{max} \leq 0,010 \text{ ms}^{-1}$ aralığını önerilmiştir [31].

Krillerin pozisyonu ne kadar uygun ise hareketleri o düzeyde düşük rastgele olmaktadır. Böylece bu etkinin hesaba katılması için fiziksel difüzyon formülüne yeni bir terim eklenmelidir. Diğer kriller tarafından uyarılmış hareketin ve besin arama hareketinin etkileri, zamanın ilerlemesiyle giderek düşmektedir. Buna karşın denklem (1.36)'da tanımlanan fiziksel difüzyon rastgele bir vektör olup, yineleme sayısının artmasıyla sürekli olarak azalmamaktadır. Bu nedenle denklem (1.36)'ya yeni bir terim eklenerek, denklem (1.37) elde edilmektedir. Böylece zamana bağlı olarak rastgele hız doğrusal olarak azalır ve böylece geometrik bir tavlama şeması temelinde çalışır.

$$D_i = D^{max} \left(1 - \frac{1}{I_{max}}\right) \delta \quad (1.37)$$

1.6.2. Kril Sürüsü Optimizasyonunun Hareket Süreci

Temelde tanımlanan yer değişimi çoğunlukla bir krilin pozisyonunu en iyi uygunluğa doğru yönlendirmektedir. Yiyecek arama hareketi ve diğer kriller tarafından uyarılan hareket iki küresel ve iki yerel strateji içermektedir. Fiziksel difüzyon KSO algoritmasında rastgele bir arama yapılmasını sağlamaktadır. Arama süresi boyunca kril hareketinde farklı etkin parametreler kullanılarak, t ile $t + \Delta t$ zaman aralığında bir krilin pozisyon vektörü denklem (1.38) ile belirlenmektedir.

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t) + \Delta t \frac{dX_i}{dt} \quad (1.38)$$

Burada Δt 'nin en kritik katsayılarından biri olduğu ve çözülmek istenen optimizasyon problemine uygun şekilde ayarlanması gerektiği akıldan çıkartılmamalıdır. Çünkü Δt , hız vektörünün ağırlıklandırma faktörüdür. Δt tamamen arama alanına bağlı olup, denklem (1.39) ile tanımlanmaktadır.

$$\Delta t = C_t \sum_{j=1}^{NV} (UB_j - LB_j) \quad (1.39)$$

Burada LB_j ve UB_j sırasıyla j . değişkenlerin alt ve üst sınırları ve NV toplam değişken sayısıdır. Deneysel çalışmalar sonucunda C_t sabitinin $0 \leq C_t \leq 2$ aralığında olması gerektiği tespit edilmiştir.

1.6.3. Genetik Operatörler

KSO'nun başarımını artırmak amacıyla yönteme genetik operatörler de dahil edilmiştir. Bunlar klasik farksal gelişim (FG) algoritmasında kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörleridir.

1.6.3.1. Çaprazlama

KSO'da uyarlanabilir bir vektörel geçiş şeması kullanılmaktadır. Geçiş, bir geçiş olasılığı terimi (C_r) ile kontrol edilmekte olup, iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar:

1. İki terimli ve
2. Üsteldir.

İki terimli şema, d bileşenlerinin veya değişkenlerinin her birinde geçişler gerçekleştirmektedir. 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı rasgele bir sayı oluşturularak, $X_{i,m}$ bileşeni denklem (1.40) ve denklem (1.41) ile bulunmaktadır.

$$X_{i,m} = \begin{cases} X_{r,m} & \text{rand}_{i,m} < C_r \\ X_{i,m} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.40)$$

$$C_r = 0.2\hat{K}_{i, en iyi} \quad (1.41)$$

1.6.3.2. Mutasyon

KSO algoritmasında mutasyon işlemi, bir mutasyon olasılığı (M_u) ile kontrol edilmektedir. Yöntemde kullanılan uyarlamalı mutasyon şeması denklem (1.42) ve denklem (1.43) ile tanımlanmaktadır.

$$X_{i,m} = \begin{cases} X_{gen iyi,m} + \mu(X_{p,m} - X_{q,m}), & \text{rand}_{i,m} < M_u \\ X_{i,m} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.42)$$

$$M_u = 0.05/\hat{K}_{i, en iyi} \quad (1.43)$$

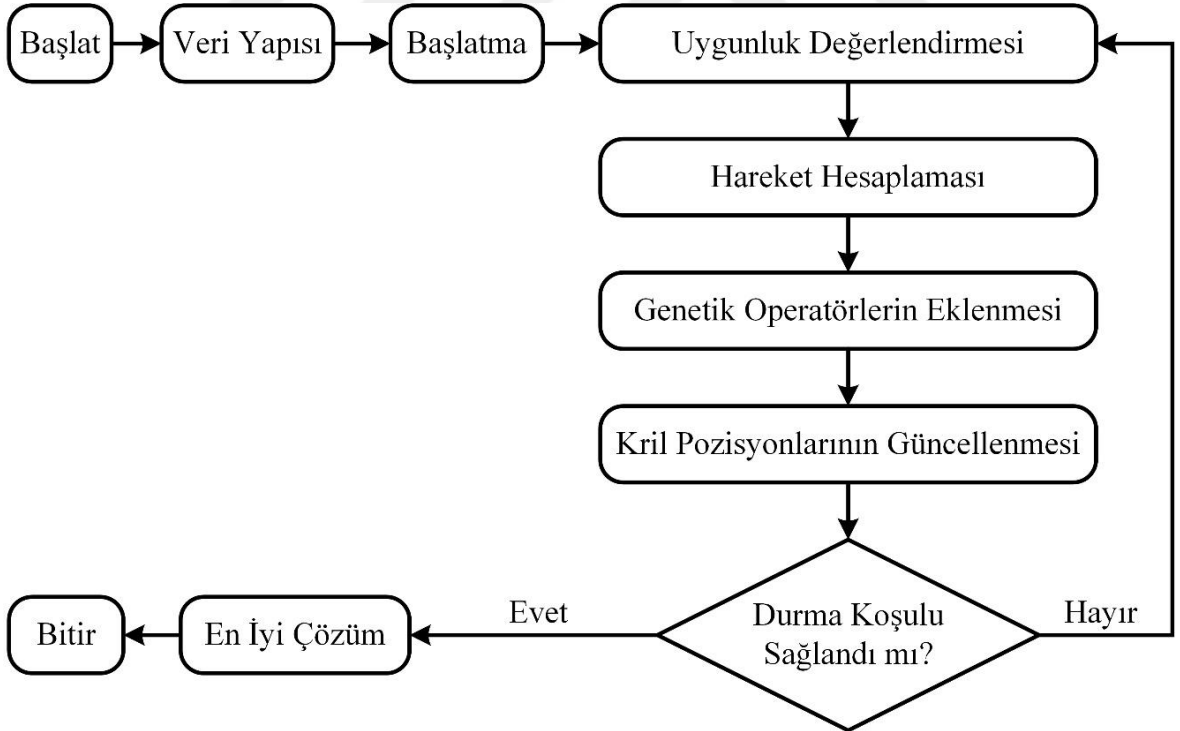
Burada μ 0 ile 1 arasında bir sayı olup, $i + 1 \leq q \leq K$ ve $1 \leq p \leq i - 1$ şartlarını sağlanmalıdır.

1.6.4. Kril Sürüsü Optimizasyonunun Uygulanması

KSO algoritması, Şekil 1.11'de verilen akış şemasındaki adımlar takip edilerek mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bunlar:

1. Veri yapıları: Sınır değerlerinin ve KSO parametrelerinin belirlenmesi
2. Başlatma: Arama uzayında rastgele bir popülasyonun oluşturulması
3. Uygunluk değerlendirmesi: Her kril için mevcut konumuna göre uygunluk değerinin hesaplanması
4. Hareket hesaplama: Üç hareketin birleşimidir. Bunlar:
 - a. Diğer krillerden kaynaklanan hareket,
 - b. Yiyecek arama hareketi ve
 - c. Fiziksel difüzyondur.
5. Genetik operatörler: Mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin uygulanması
6. Güncelleme: Arama alanındaki kril pozisyonlarının güncellenmesi
7. Tekrarlama: Durma kriteri sağlanana kadar üçüncü adıma (uygunluk değerlendirmesi) geri dönülüp, işlemlerin tekrarlanması
8. Sonlandırma: Optimizasyon işleminin bitirilmesi

Şekil 1.11’de KSO’nun basitleştirilmiş akış şeması görülmektedir.



Şekil 1.11. KSO algoritmasının akış diyagramı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Varış zamanları farkı (VZF) ile konumlandırmada, konum tespit hatası verici-alıcı geometrisine, VZF kestirim hatasına, verici ile alıcılar arasında doğrudan görüşün olup, olmamasına ve kullanılan konum tespit algoritmasına bağlıdır. Literatürde VZF kestirimi ve konumlandırmaya yönelik çok sayıda çalışma ve yöntem bulunmasına rağmen alıcı dizisi optimizasyonu yeterince analiz edilmemiştir. Bu çalışmada alıcı dizilerinin doğrultu açıları (DA) PSO ve KSO algoritmaları ile optimize edilmiş ve konumlandırma hatasında ciddi bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada KSO algoritması VZF ile verici konumu tespitinde, alıcı dizilerinin doğrultu açılarının optimizasyonunda ilk kez kullanılmıştır.

2.2. Alıcı Dizisi Doğrultu Açısı Optimizasyonu

2.2.1. Giriş

Verici ile alıcılar arasında doğrudan görüş olduğu durumda hata tabanı olmayan bir konumlandırma yönteminin ulaşabileceği en küçük karesel hata değeri denklem (2.1)'de verildiği gibi tanımlanmaktadır [27].

$$CRAS = tr(c^2(\mathbf{G}_t^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{G}_t)^{-1}) \quad (2.1)$$

Burada $\mathbf{G}_t$ Taylor katsayı matrisi (TKM) veya geometri matrisi olarak adlandırılmaktadır. Teorik hata limitinin verici-alıcı geometrisine bağlılığı TKM'den kaynaklanmaktadır. Denklem (2.2)'den de anlaşılacağı gibi TKM tamamen verici ve alıcı koordinatları ile hesaplanmaktadır. Bu durumda TKM üzerinde değişiklik yapılarak konumlandırma hatası azaltılabilir. Hedefin koordinatları üzerinde bir değişiklik yapılamayacağı ortada olduğu için alıcı dizisi optimize edilerek TKM, teorik hata limitini azaltacak şekilde düzenlenebilir.

Bu kısımda sabit ve hareketli hedef durumları için hedefin kestirilen koordinatlarına göre farklı eş açılı dairesel alıcı dizilerinin (EADAD) ve iki boyutlu alıcı dizilerini (İBAD)

doğrultu açıları (DA) teorik hata limitini (CRAS) minimum yapacak şekilde PSO ve KSO algoritmaları ile optimize edilerek, konumlandırma doğruluğunda belirgin bir artış sağlanmıştır.

$$\mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} \frac{x_1-x}{l_1} + \frac{x-x_2}{l_2} & \frac{y_1-y}{l_1} + \frac{y-y_2}{l_2} \\ \frac{x_1-x}{l_1} + \frac{x-x_3}{l_3} & \frac{y_1-y}{l_1} + \frac{y-y_3}{l_3} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_1-x}{l_1} + \frac{x-x_N}{l_N} & \frac{y_1-y}{l_1} + \frac{y-y_N}{l_N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 2} \quad (2.2)$$

Alıcı dizisi DA optimizasyonu üç adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

Adım 1. Alıcı dizisi ile konum tespiti: Bu adımda DA optimizasyonu olmadan hedefin koordinatları bağımsız VZF seti kullanılarak, PSO ve KSO algoritmaları ile tespit edilmektedir. Bağımsız veya küresel VZF seti, bir alıcı referans alınıp (genelde ilk alıcı) diğer alıcılar ile olan zaman farkları hesaplanarak elde edilmektedir. N alıcı için bağımsız VZF seti denklem (2.3) – denklem (2.5) ile bulunmaktadır.

$$\text{Bağımsız VZF Seti} = \Delta_{1i}, \quad 2 \leq i \leq N \quad (2.3)$$

$$\Delta_{1i} = \frac{l_1 - l_i}{c} \quad (2.4)$$

$$l_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (2.5)$$

Burada Δ_{1i} 1. alıcı ile i . alıcı arasındaki gerçek (hatasız veya gürültüsüz) zaman farkını, c , işaretin ortamdaki yayılım hızını, l_i verici ile i . alıcı arasındaki uzaklığı, (x, y) hedefin gerçek konumunu, (x_i, y_i) i . alıcının koordinatlarını ve i alıcı indisini göstermektedir. Alıcı sayısı yedi olduğunda denklem (2.3) kullanılarak bağımsız VZF seti denklem (2.6)'da verildiği gibi elde edilebilir.

$$\text{Bağımsız VZF Seti} = \Delta_{12}, \Delta_{13}, \Delta_{14}, \Delta_{15}, \Delta_{16} \text{ ve } \Delta_{17} \quad (2.6)$$

PSO veya KSO ile konum tespitinde öncelikle gerçek VZF'ler kullanılarak kestirilen zaman farkları elde edilmelidir. VZF özdeğişinti matrisi, verici ile alıcılar arasında doğrudan görüş var ise denklem (2.7)'deki gibi alınabilir [27].

$$\mathbf{Q} = \frac{1}{\sigma^2} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0,5 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0,5 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{N-1 \times N-1} \quad (2.7)$$

Burada $\mathbf{Q}$ VZF özdeğişinti matrisi ve σ^2 VZF gürültüsünün varyansıdır. Kestirilen VZF'leri bulmak için gerçek zaman farklarına denklem (2.8)'de verildiği gibi korele Gauss dağılımlı gürültü eklenmektedir.

$$\hat{\Delta} = \Delta + n \quad (2.8)$$

Burada $\hat{\Delta}$ kestirilen VZF ve n korele VZF gürültüsüdür. PSO ve KSO ile konum tespitinde bireylerin veya parçacıkların koordinatları ile ilişkili bir uygunluk fonksiyonu tanımlanmalıdır. Bu fonksiyonu en küçük yapan bireyin veya parçacığın koordinatları vericinin kestirilen konumunu vermektedir. Bu çalışmada verici konumu tespitinde denklem (2.9)'da verilen uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır.

$$uf(\mathbf{x}^p) = \sum_{i=2}^N (\hat{\Delta}_{1i} - \Delta_{1i}^p)^2 \quad (2.9)$$

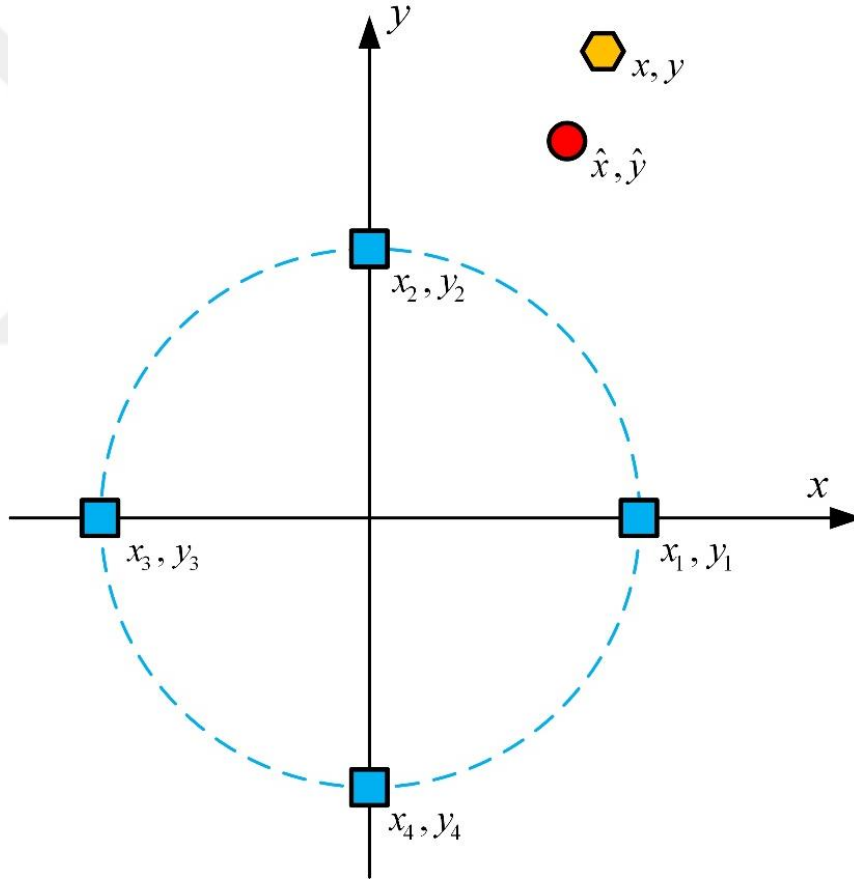
Burada $uf(\mathbf{x}^p)$ p . parçacığın veya bireyin konum vektörüne bağlı uygunluk fonksiyonu, $\mathbf{x}^p$ p . parçacığın veya bireyin konum vektörü, $\hat{\Delta}_{1i}$ 1. alıcı ile i . alıcı arasındaki kestirilen (VZF gürültülü) zaman farkı ve Δ_{1i}^p p . parçacığın konum vektörüne göre 1. alıcı ile i . alıcı arasında oluşan zaman farkıdır.

Denklem (2.9) incelendiğinde parçacığın veya bireyin uygunluk değerinin, parçacığın mevcut konumuna bağlı olarak elde edilen VZF ile kestirilen VZF farkının karesi olduğu görülmektedir. Parçacığın uygunluk değeri VZF hatalarının karelerinin toplamı olduğu için her zaman pozitif değer almaktadır. Bu durumda uygunluk değeri sıfıra en yakın olan parçacık veya birey hedefin kestirilen koordinatlarını $(\hat{x}, \hat{y})$ vermektedir. DA optimizasyonunun ilk adımı Şekil 2.1'de ve akış şeması da Şekil 2.2'de verilmiştir.

Adım 2. Alıcı dizisinin doğrultu açısının optimizasyonu: İlk adımda DA optimizasyonu olmadığı durumda alıcı dizisi normal yönelimde iken hedefin kestirilen koordinatları $(\hat{x}, \hat{y})$ elde edilmiştir. Bu adımda kestirilen hedef konumu, denklem (2.2)'de verilen TKM'de hedefin gerçek koordinatları yerine yazılarak denklem (2.10) elde edilir. Denklem (2.1)'de verilen CRAS hesabında denklem (2.10) kullanılır ve teorik karesel hata

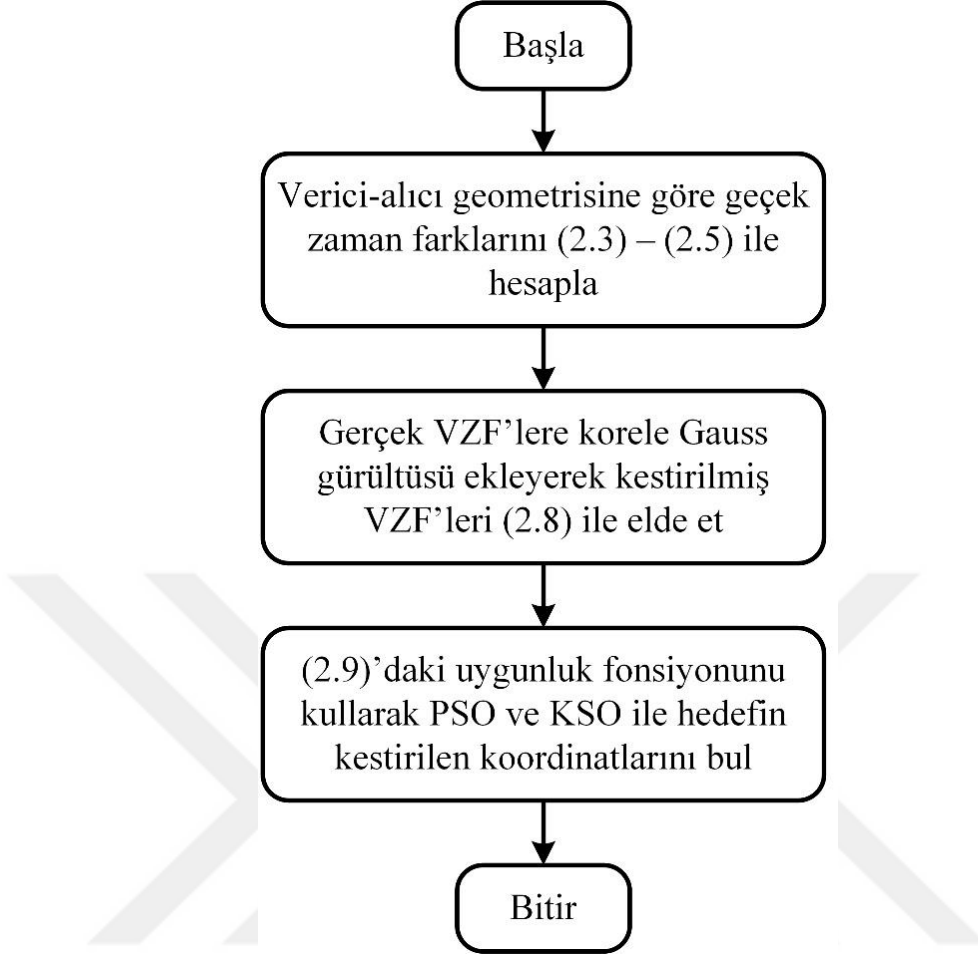
limiti PSO ve KSO algoritmalarında uygunluk fonksiyonu olarak alınır. Belirlenen alt (θ_{alt}) ve üst (θ_{ust}) limitler içerisinde CRAS'yi en küçük yapan DA açısı (θ) optimum DA (θ_o) olarak isimlendirilir. Böylece PSO ve KSO ile EADAD ve İBAD için DA optimizasyonu gerçekleştirilmiş olur.

$$\mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - \hat{x}}{l_1} + \frac{\hat{x} - x_2}{l_2} & \frac{y_1 - \hat{y}}{l_1} + \frac{\hat{y} - y_2}{l_2} \\ \frac{x_1 - \hat{x}}{l_1} + \frac{\hat{x} - x_3}{l_3} & \frac{y_1 - \hat{y}}{l_1} + \frac{\hat{y} - y_3}{l_3} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_1 - \hat{x}}{l_1} + \frac{\hat{x} - x_N}{l_N} & \frac{y_1 - \hat{y}}{l_1} + \frac{\hat{y} - y_N}{l_N} \end{bmatrix}_{N-1 \times 2} \quad (2.10)$$



Şekil 2.1. Alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda birinci adım

DA optimizasyonunda denklem (2.10)'daki TKM hesaplanmadan önce alıcı dizisi, parçacığın veya bireyin konumuna ($x^p = \theta$) göre denklem (2.11) ve denklem (2.12) kullanılarak döndürülür. PSO ve KSO algoritmaları konum tespitinde iki boyutlu ($x^p = [x, y]$) ve DA optimizasyonunda tek boyutlu ($x^p = \theta$) olarak çalıştırılır.



Şekil 2.2. DA optimizasyonunda birinci adımın akış şeması

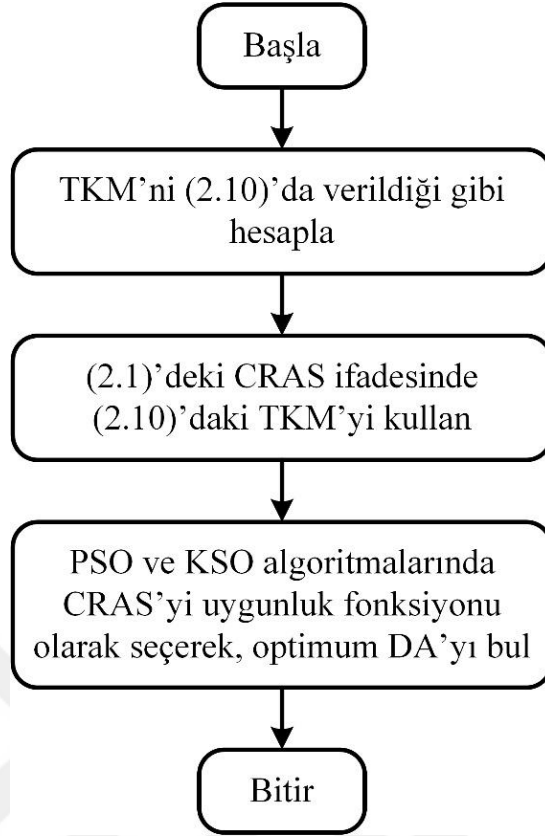
$$x_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \times \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_i}{x_i}\right) + \frac{\theta \times \pi}{180}\right), \quad \theta_{alt} \leq \theta \leq \theta_{ust} \quad (2.11)$$

$$y_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \times \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_i}{x_i}\right) + \frac{\theta \times \pi}{180}\right), \quad \theta_{alt} \leq \theta \leq \theta_{ust} \quad (2.12)$$

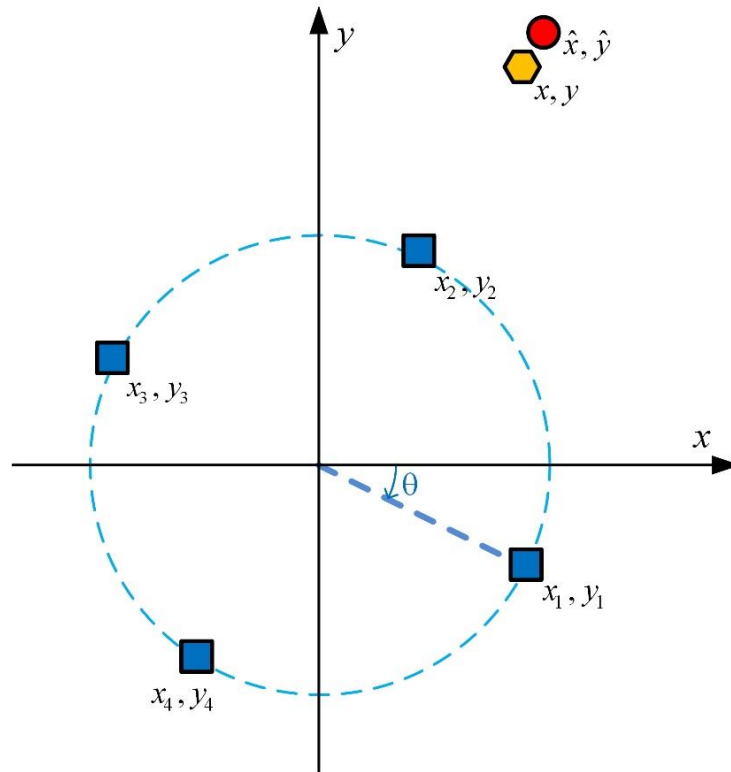
Denklem (2.11) ve denklem (2.12)'de θ derece cinsinden girilmelidir. Şekil 2.3'te DA optimizasyonunun ikinci adımının akış şeması görülmektedir.

Adım 3. Optimize alıcı dizisi ile konum tespiti: Son adımda optimize DA (θ_o) kadar döndürülmüş alıcı dizisi ile tekrar konum tespiti yapılmaktadır. Hedef konumu Adım 1'deki gibi bulunmaktadır. Şekil 2.4'te DA optimizasyonunun son adımı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan benzetimler, Windows 10 Home 64 bit işletim sistemli, Intel Core i7-6700HQ işlemcili ve 16 GB DDR3 bellekli bir bilgisayar kullanılarak MATLAB R2019a 64 bit programı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3. DA optimizasyonunda ikinci adımın akış şeması



Şekil 2.4. Alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonunda üçüncü adım

2.2.2. Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Sabit Hedefin Konumlandırılması

EADAD ile doğrultu açısı optimizasyonunda alıcı sayısı dörtten sekize kadar birer birer arttırılmıştır. Alıcılar 10 birim çapındaki bir çember üzerine denklem (2.13) ve denklem (2.14)'te verildiği gibi yerleştirilmiştir. Hedef (45, 22) noktasına konumlandırılmış ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,001/c^2$ alınmıştır. Tablo 2.1 – Tablo 2.4'te PSO ve KSO parametreleri verilmiştir. Ayrıca Denklem (2.15) ve denklem (2.16) ile parçacıkların tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiştir.

$$x_i = \cos\left(\frac{2 \times \pi \times i}{N}\right), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.13)$$

$$y_i = \sin\left(\frac{2 \times \pi \times i}{N}\right), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.14)$$

$$-100 \leq x^p \leq 100, \quad -100 \leq y^p \leq 100, \quad p = 1 \dots N_p \quad (2.15)$$

$$\theta_{alt} \leq x^p \leq \theta_{ust} \rightarrow 0 \leq x^p \leq 360^\circ/N \quad (2.16)$$

Burada N alıcı sayısını, N_p birey/parçacık sayısını, x^p bireyin/parçacığın x koordinatını, y^p bireyin/parçacığın y koordinatını ve p birey/parçacık indisini göstermektedir.

Tablo 2.1. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	250
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.2. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yapılmıyor
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	250
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.3. EADAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	25
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.4. EADAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	25
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.5'te sabit hedef durumu için benzetim sonuçları verilmiştir. Benzetim sonuçlarının doğruluğunun yüksek olması için bağımsız deneme sayısı olabildiğince büyük seçilmelidir. Bağımsız deneme sayısı bu benzetimde 10.000 alınmış ve ortalama karesel hata (OKH) ve DA optimizasyonundan sonra hesaplanan ortalama karesel hata (OKH₀) denklem (2.17) ile bulunmuştur.

$$OKH = E\{(\hat{x} - x)^2 + (\hat{y} - y)^2\} = E\{(\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}) * (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x})'\} \quad (2.17)$$

Burada $E\{.\}$ uzun dönem ortalama işlemini, x hedefin gerçek x koordinatlarını, $\hat{x}$ hedefin kestirilen x koordinatlarını, y hedefin gerçek y koordinatlarını, $\hat{y}$ hedefin kestirilen y koordinatlarını, $\mathbf{x}$ hedefin gerçek koordinatlarını, $\hat{\mathbf{x}}$ hedefin kestirilen koordinatlarını, $(.)'$ transpoze işlemini ve $*$ vektörel çarpma operatörünü göstermektedir.

Benzetimde, önerilen yöntemin konumlandırma başarımını göstermek amacıyla her bağımsız denemede DA optimizasyonundan sonra CRAS hesaplanmış ve bunların

ortalaması (OCRAS) Tablo 2.5'te verilmiştir. Ayrıca her bağımsız denemede PSO ve KSO ile bulunan optimum doğrultu açılarının (ODA) ortalaması Tablo 2.5'te sunulmuştur.

Tablo 2.5. EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde benzetim sonuçları

Alıcı Sayısı	CRAS	OKH		OKH ₀		OCRAS		ODA	
		PSO	KSO	PSO	KSO	PSO	KSO	PSO	KSO
4	3,4541	3,4713	3,4701	1,3576	1,3562	1,3604	1,3604	26,0532	26,0532
5	2,5771	2,8867	2,8859	1,5565	1,5556	1,4790	1,4790	26,0546	26,0546
6	1,8221	1,8800	1,8876	1,7973	1,7956	1,5080	1,5080	26,0536	26,0536
7	1,4518	2,2649	2,2642	1,6500	1,6482	1,3903	1,3903	26,0539	26,0539
8	1,2438	2,6181	2,6169	1,4667	1,4655	1,2415	1,2415	26,0538	26,0538

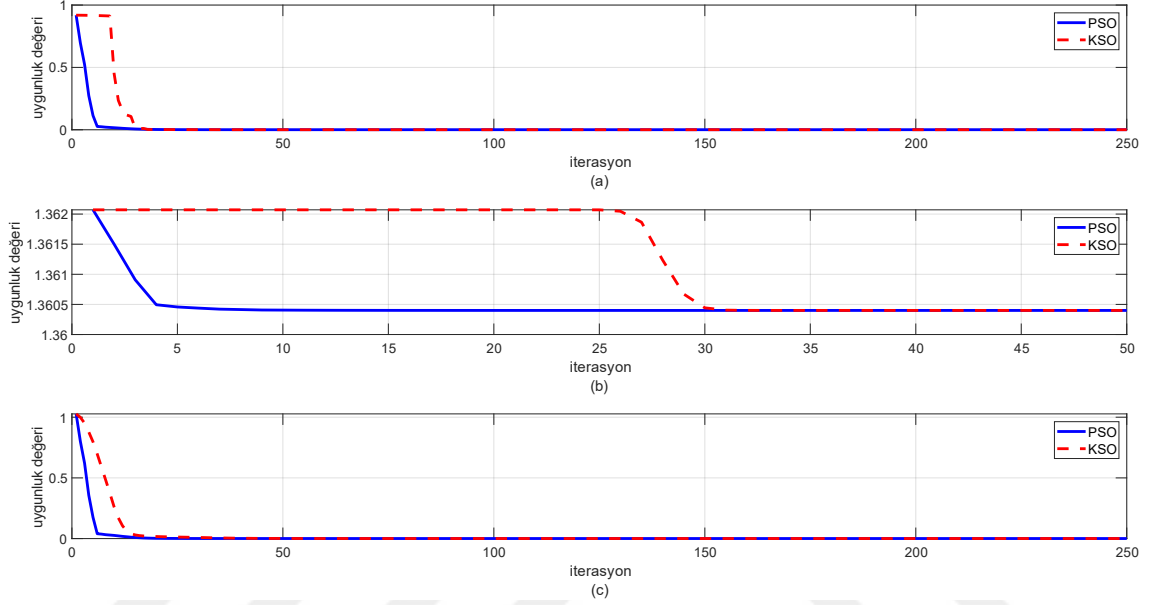
Tablo 2.5'te verilen benzetim sonuçları analiz edildiğinde aşağıda maddeler halinde sıralanan bulgulara ulaşmak mümkündür. Bunlar:

- Tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik hata limiti (CRAS) belirgin bir şekilde düşmüştür (OCRAS).
- Tüm alıcı sayılarında doğrultu açısı optimizasyonundan sonra ortalama karesel hata (OKH₀) ciddi bir şekilde azalmıştır.
- Tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonunda önce ve sonra KSO algoritması konumlandırma doğruluğu açısından PSO'yu geçmiş ve daha düşük karesel hata değeri (OKH ve OKH₀) elde etmiştir.
- Doğrultu açısı optimizasyonundan önce PSO ve KHO algoritmalarının karesel hata değerleri (OKH) olması gerektiği gibi teorik limiti (CRAS) geçmemiştir. Bu durum kullanılan gürültü modelinin doğru ve bağımsız deneme sayısının yeterli olduğunu göstermektedir.
- İlk kez bu çalışmada KSO ile alıcı dizisi doğrultu açısı optimizasyonu yapılmış ve yöntemin başarımı PSO ile kıyaslanmıştır.

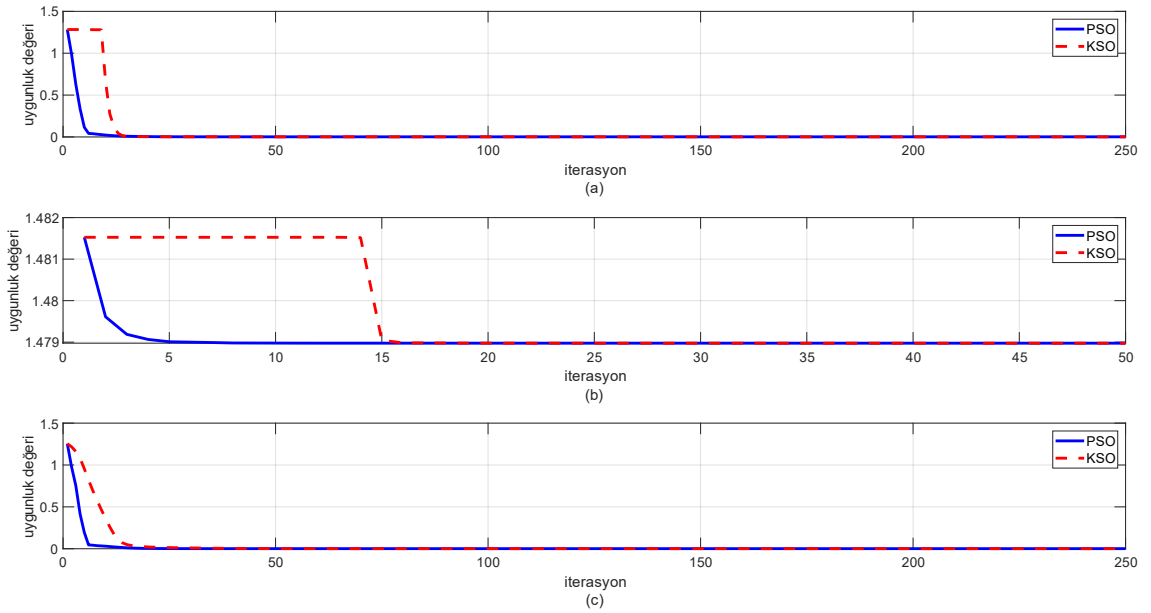
Şekil 2.5 – Şekil 2.9'da PSO ve KSO yöntemlerinin yakınsamaları birbirleri ile kıyaslanmıştır. Şekillerde (a) kısmında alıcı dizisinin doğrultu açısı optimizasyonu yapılmadığı durum için PSO ve KSO algoritmalarının uygunluk değeri eğrileri görülmektedir. (b) bölümünde ise doğrultu açısı optimizasyonunda PSO ve KSO'nun elde ettiği uygunluk değerlerinin yineleme sayısı ile değişimi sunulmuştur. Son olarak (c)

kısımında ise doğrultu açısı optimizasyonundan sonra yöntemlerin uygunluk değeri eğrileri verilmiştir.

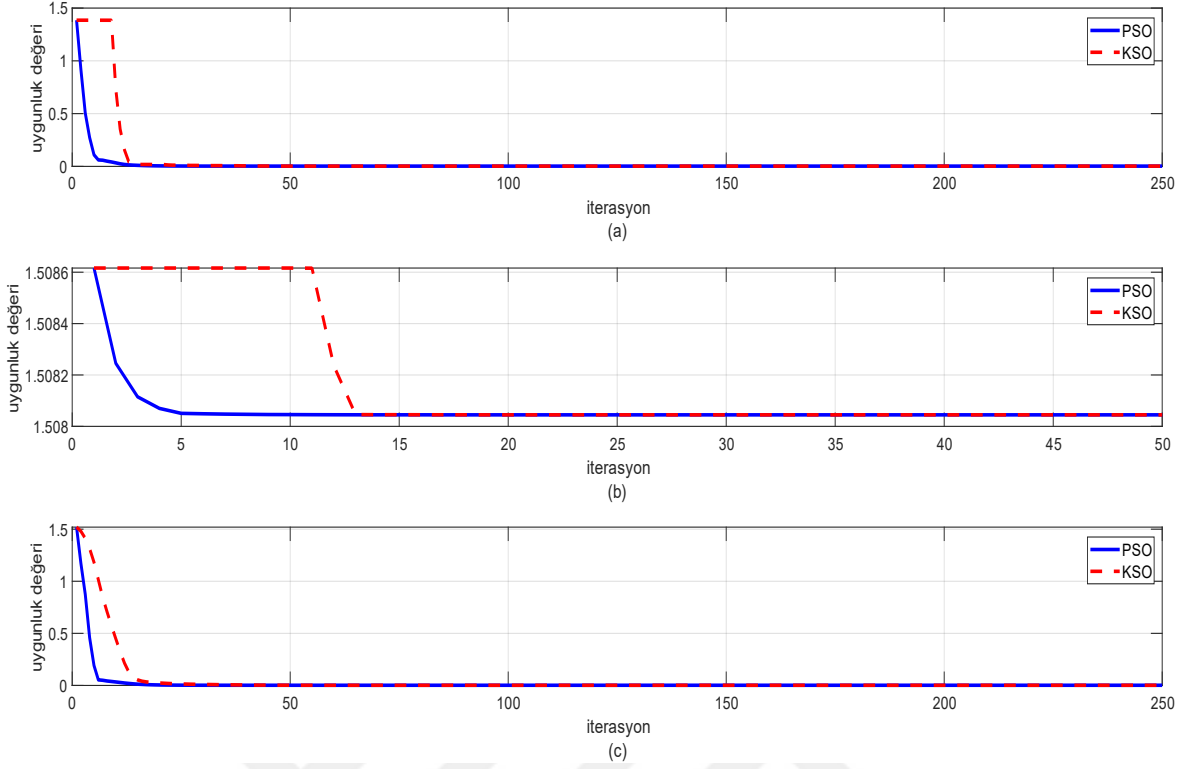
Şekil 2.5 – Şekil 2.9 incelendiğinde tüm alıcı sayıları ($4 \leq N \leq 8$) ve kısımlarda (a, b ve c) PSO yakınma hızı açısından KSO'yu geçmiştir. Ancak tüm alıcı sayıları için KSO yöntemi PSO'dan daha iyi konumlandırma doğruluğu sağlamıştır.



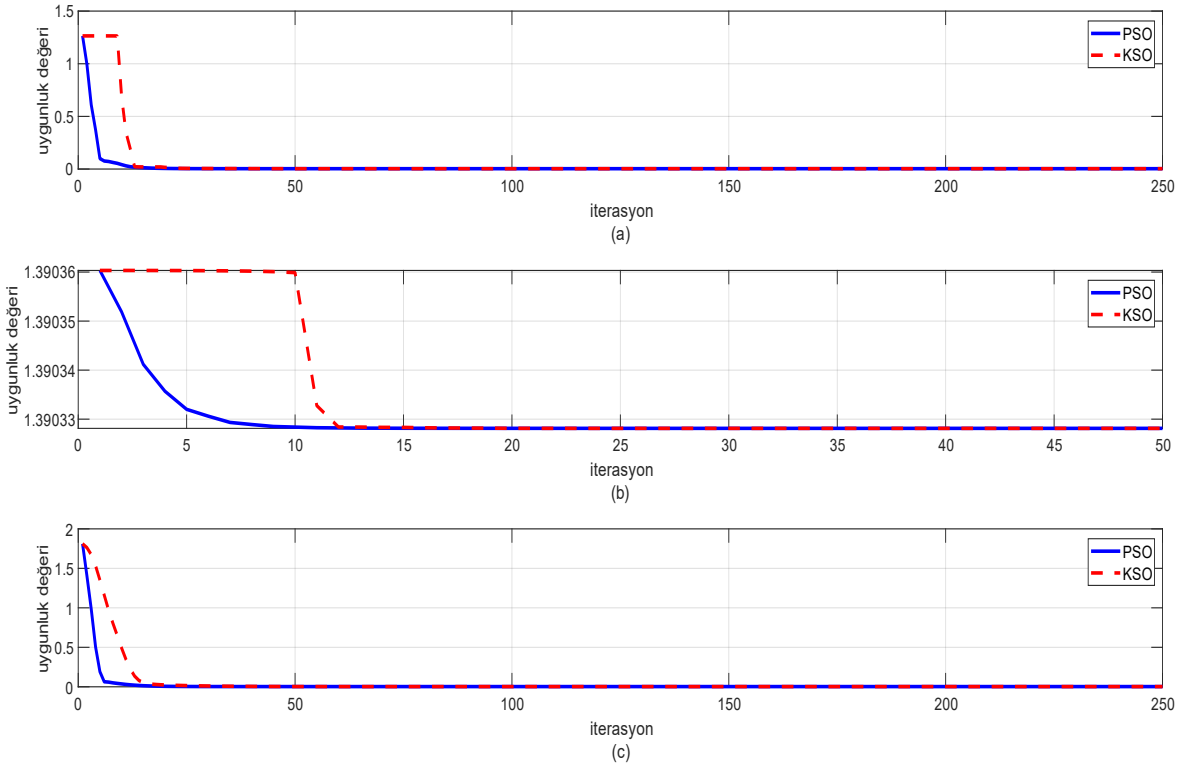
Şekil 2.5. Dört alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma



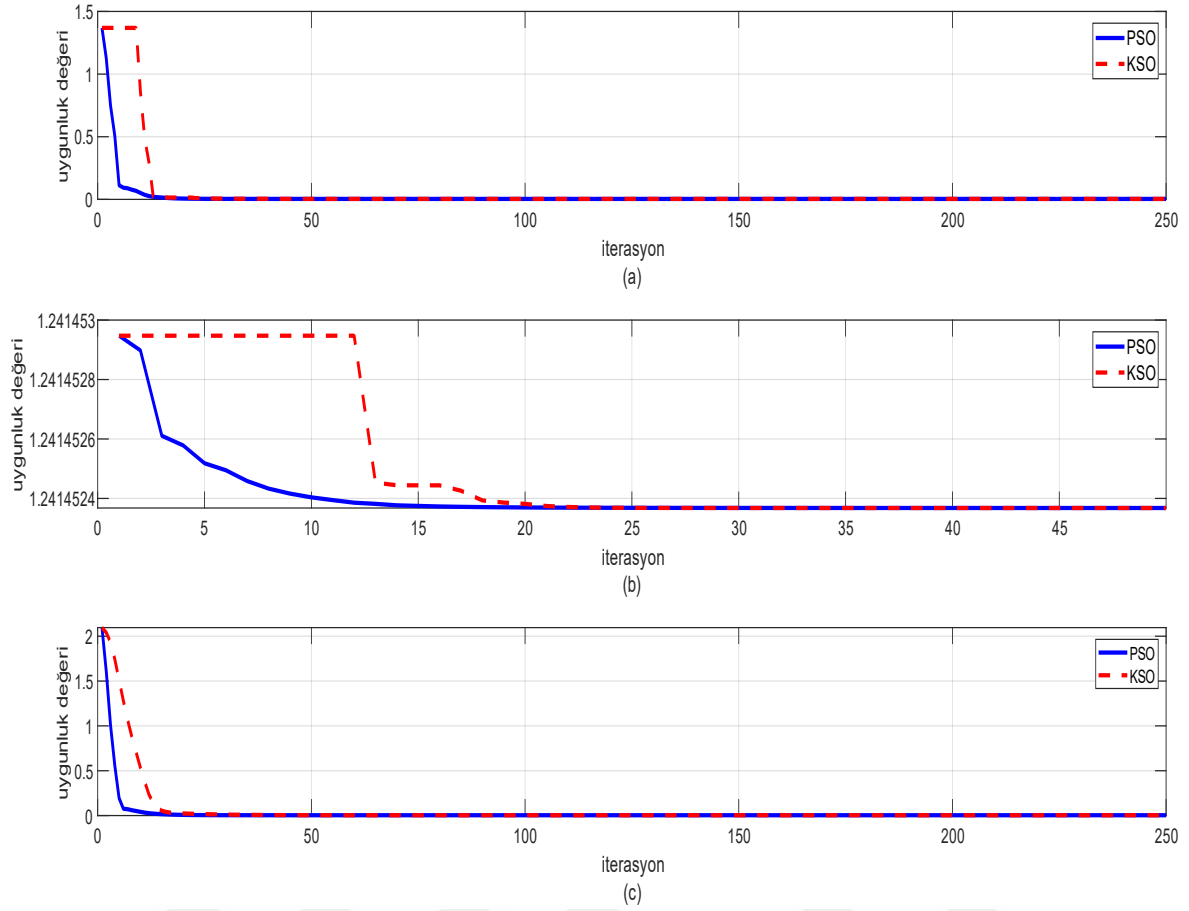
Şekil 2.6. Beş alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma



Şekil 2.7. Altı alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma



Şekil 2.8. Yedi alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma



Şekil 2.9. Sekiz alıcılı EADAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma

Sonuçlar: Bu başlık altında EADAD ile sabit hedef için doğrultu açısı optimizasyonunda KSO ve PSO ve algoritmaları, yakınsama hızı ve doğruluk açısından karşılaştırılmış olup, elde edilen başlıca bulgular şunlardır:

- KSO ile iki boyutlu bir alıcı dizisinin doğrultu açısı ilk kez bu çalışmada optimize edilmiştir.
- İlk kez bu çalışmada iki boyutlu alıcı dizinin doğrultu açısı optimizasyonunda KSO konumlandırma hatası ve yakınsama hızı açısından PSO ile kıyaslanmıştır.
- Tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonunda sonra CRAS ve OKH değerlerinde belirgin bir azalma sağlanmıştır.
- Tüm alıcı sayılarında doğrultu açısı optimizasyonundan önce ve sonra KSO yöntemi PSO'dan daha yüksek konumlandırma doğruluğu elde etmiştir.
- Tüm alıcı sayılarında hem konumlandırma ve hem de doğrultu açısı optimizasyonunda PSO algoritması KSO'dan daha hızlı yakınsamıştır.

2.2.3. İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Sabit Hedefin Konumlandırılması

İki boyutlu alıcı dizisi (İBAD) ile doğrultu açısı optimizasyonunda alıcı sayısı dörtten sekize kadar arttırılmıştır. Alıcılar iki boyutlu düzlemde denklem (2.18) ve denklem (2.19)'daki gibi yerleştirilmiştir. Hedef (30, 40) noktasına konumlandırılmış ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,001/c^2$ alınmıştır. Tablo 2.6 – Tablo 2.9'da PSO ve KSO parametreleri verilmiş olup, parçacıkların Denklem (2.20) ve denklem (2.21) ile tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiştir.

$$x_i = 5 \times (1 + \text{mod}(i, 2)) \times \cos\left(\frac{2 \times i \times \pi}{N}\right), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.18)$$

$$y_i = 5 \times (1 + \text{mod}(i, 2)) \times \sin\left(\frac{2 \times i \times \pi}{N}\right), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.19)$$

$$-100 \leq x^p \leq 100, \quad -100 \leq y^p \leq 100, \quad p = 1 \dots N_p \quad (2.20)$$

$$\theta_{alt} \leq x^p \leq \theta_{ust} \rightarrow 0 \leq x^p \leq 360^\circ \quad (2.21)$$

Tablo 2.6. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	250
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.7. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	250
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.8. İBAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	50
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.9. İBAD ile sabit hedefin konum tespiti için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	50
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

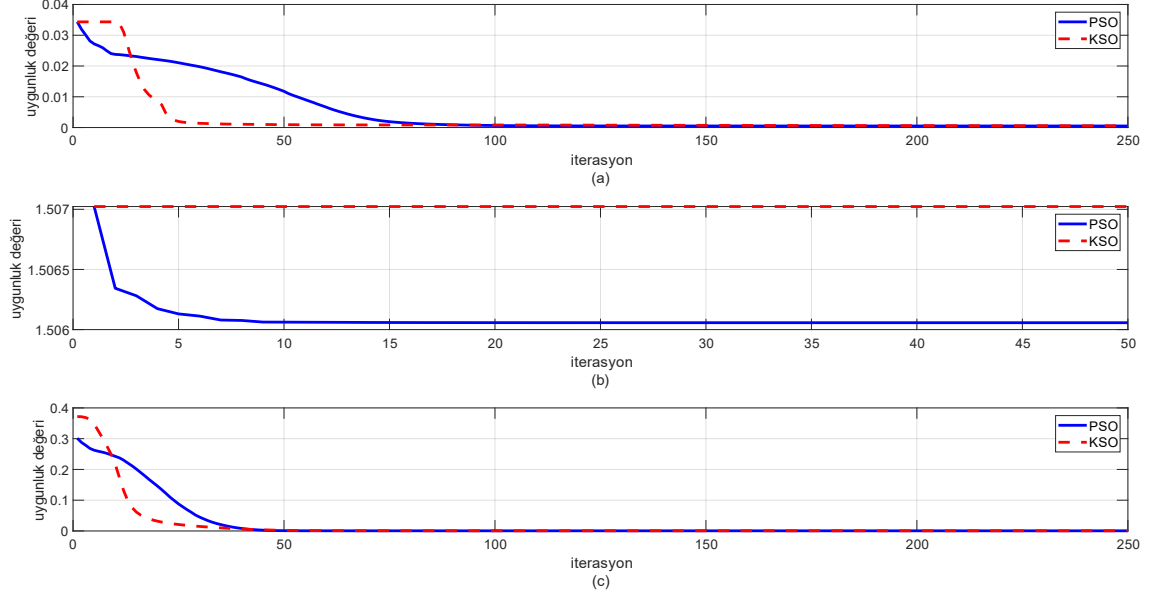
Tablo 2.10. İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde benzetim sonuçları

Alıcı Sayısı	CRAS	OKH		OKH ₀		OCRAS		OYA	
		PSO	KSO	PSO	KSO	PSO	KSO	PSO	KSO
4	22,3453	24,5426	24,4667	1,3750	1,3725	1,5070	1,5070	205,8513	107,5140
5	8,2115	9,0308	9,0201	1,5105	1,5041	1,3384	1,3384	193,0020	127,0548
6	3,4404	6,8144	6,8127	1,8933	1,8873	1,4152	1,4152	141,3645	140,3572
7	1,5943	3,6071	3,6048	1,2278	1,1671	1,0899	1,0899	252,0183	77,9676
8	1,1074	2,5087	2,5076	1,3510	1,3438	1,0578	1,0578	131,8896	202,9082

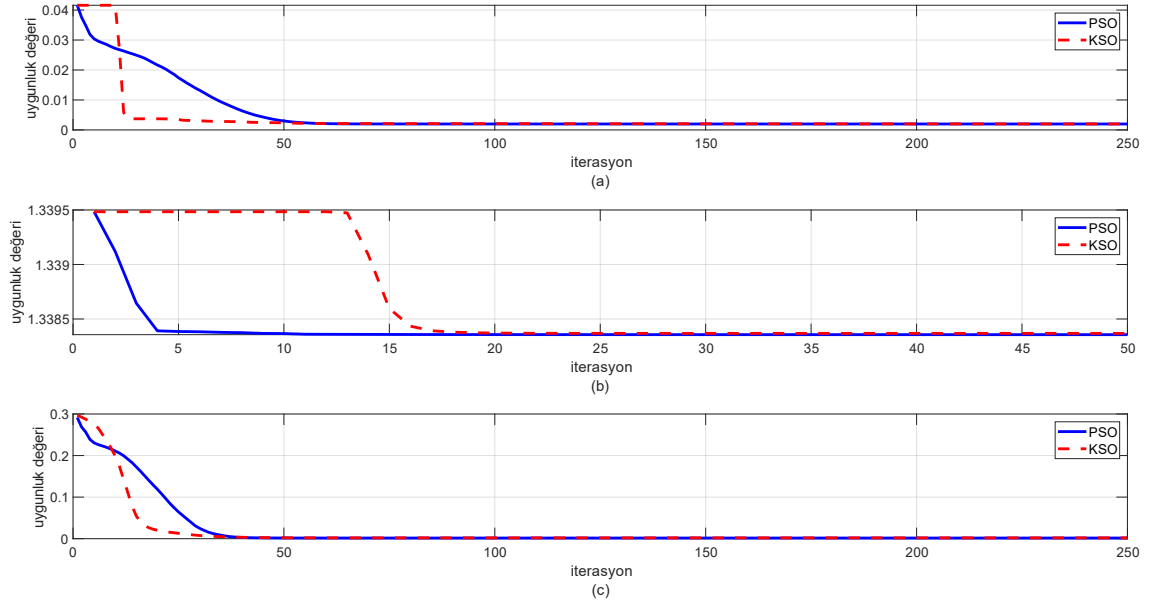
Bağımsız deneme sayısı bu benzetimde 10.000 alınmış ve ortalama karesel hata (OKH ve OKH₀) değerleri denklem (2.17) ile hesaplanmıştır. Tablo 2.10'daki benzetim sonuçları irdelendiğinde aşağıda bulgulara ulaşılmaktadır. Bunlar:

- Tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik hata limiti belirgin bir şekilde azalmıştır (OCRAS).
- Tüm alıcı sayılarında doğrultu açısı optimizasyonunda sonra ortalama karesel hata ciddi bir şekilde düşmüştür (OKH₀).

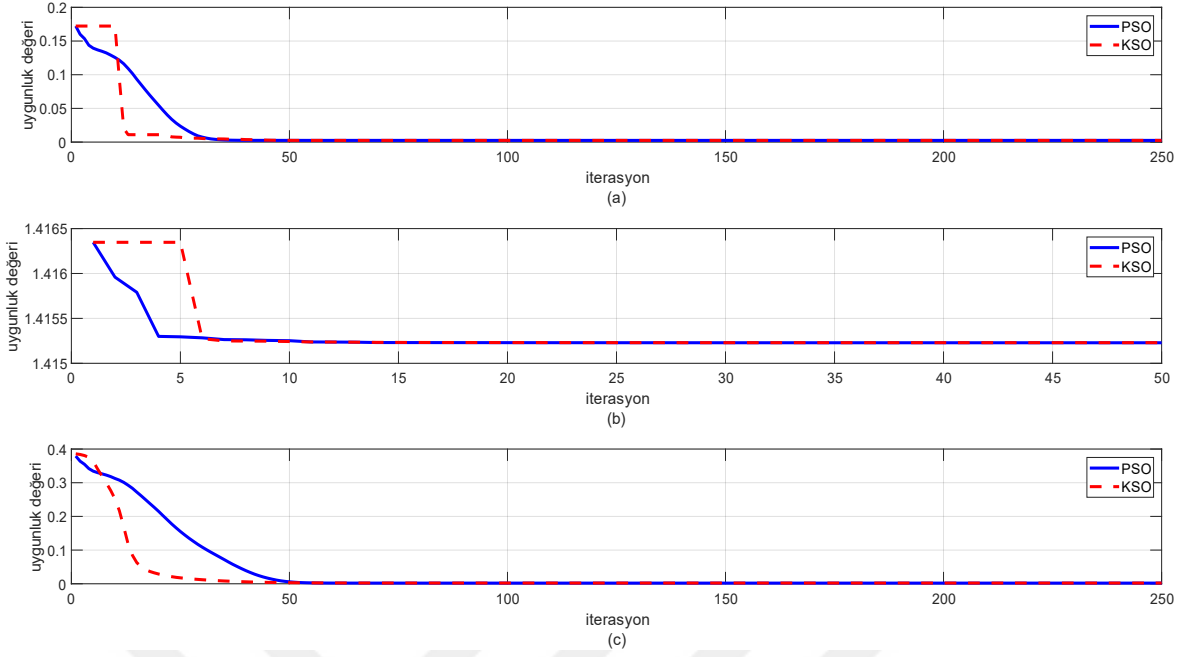
- Tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonunda önce ve sonra KSO algoritması konumlandırma doğruluğu açısından PSO'yu geçmiş ve daha düşük karesel hata değerleri (OKH ve OKH_0) elde etmiştir.
- Doğrultu açısı optimizasyonundan önce PSO ve KHO algoritmalarının karesel hata değerleri (OKH) literatüre uygun şekilde CRAS'yi geçmemiştir.



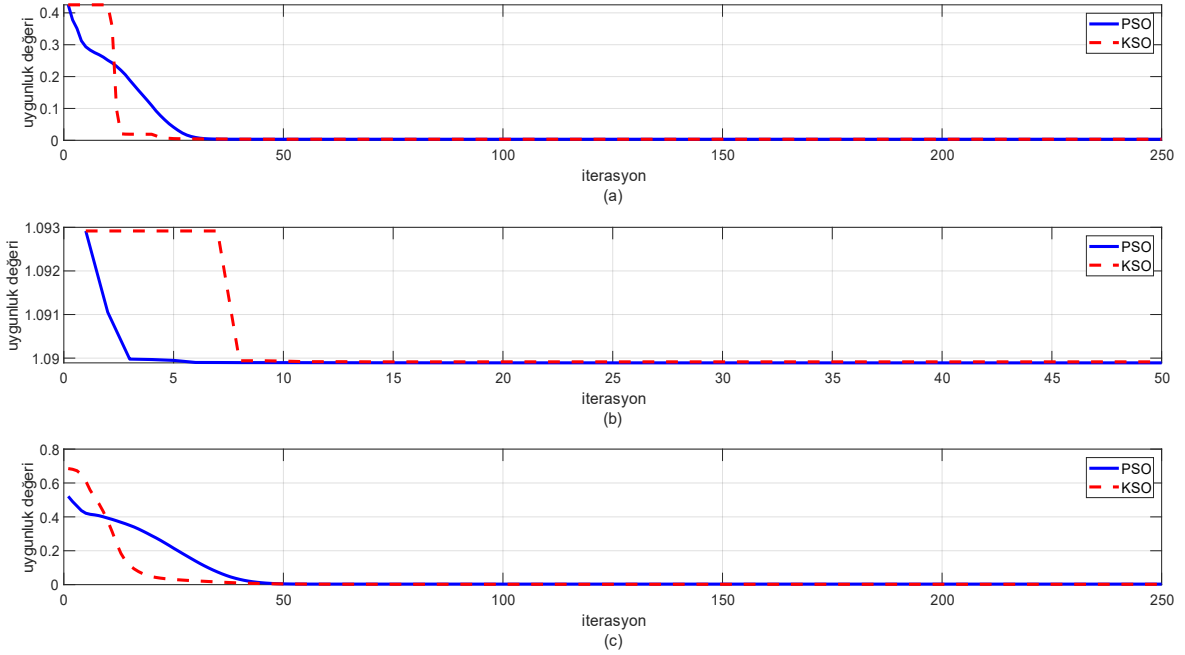
Şekil 2.10. Dört alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) Doğrultu açısı optimizasyonu (c) Konumlandırma



Şekil 2.11. Beş alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) Doğrultu açısı optimizasyonu (c) Konumlandırma

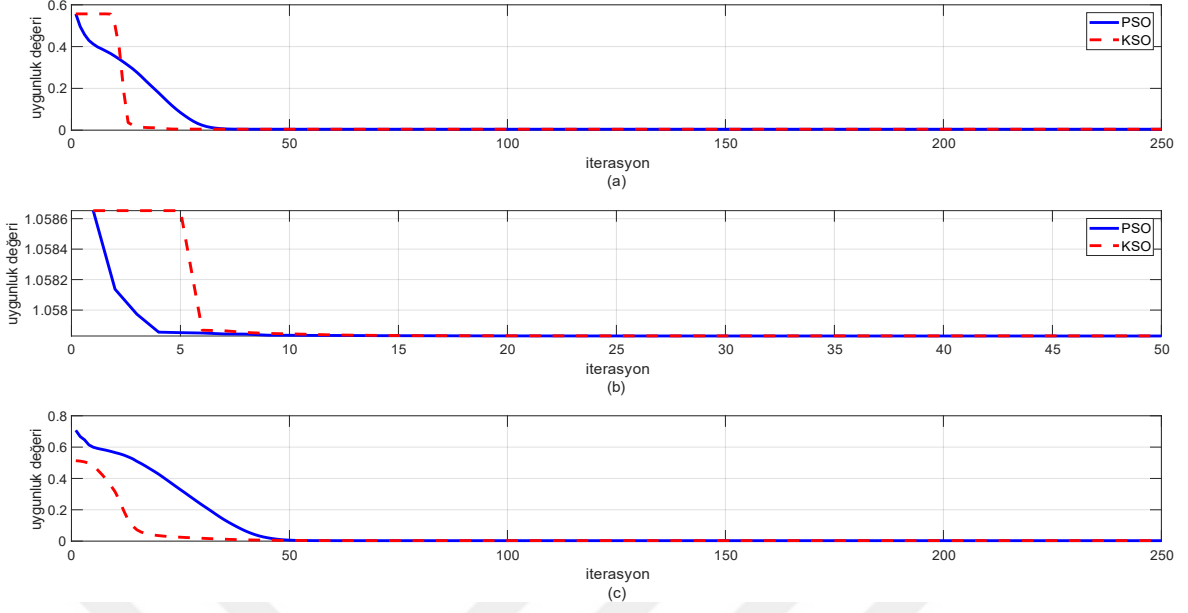


Şekil 2.12. Altı alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma



Şekil 2.13. Yedi alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma

Şekil 2.10 – Şekil 2.14’te PSO ve KSO yöntemlerinin uygun değerlerinin yakınsama eğrileri verilmiştir. Tüm alıcı durumlarında konumlandırmada KSO ve doğrultu açısı optimizasyonunda da PSO daha hızlı yakınsamıştır.



Şekil 2.14. Sekiz alıcılı İBAD ile sabit hedefin konum tespitinde uygunluk değeri eğrileri
(a) Konumlandırma (b) DA optimizasyonu (c) Konumlandırma

Sonuçlar: Bu kısımda İBAD ile sabit hedefin için doğrultu açısı optimizasyonunda KSO ve PSO algoritmaları yakınsama hızı ve konumlandırma hatası açısından karşılaştırılmış olup, elde edilen başlıca bulgular şunlardır:

- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra tüm alıcı geometrileri için CRAS ve OKH değerleri belirgin bir şekilde düşmüştür.
- Tüm alıcı geometrilerinde doğrultu açısı optimizasyonundan önce ve sonra KSO yöntemi PSO'ya göre daha yüksek konumlandırma doğruluğu elde etmiştir.
- Doğrultu açısı optimizasyonunda önce CRAS tanımlamasına uygun olacak şekilde PSO ve KSO algoritmalarının karesel konumlandırma hataları teorik limitin üstünde çıkmıştır. Bu durum seçilen bağımsız deneme sayısının ve kullanılan gürültü modelinin doğruluğunu göstermektedir.
- Tüm alıcı geometrileri için konum tespitinde KSO ve doğrultu açısı optimizasyonunda PSO daha hızlı yakınsamıştır.

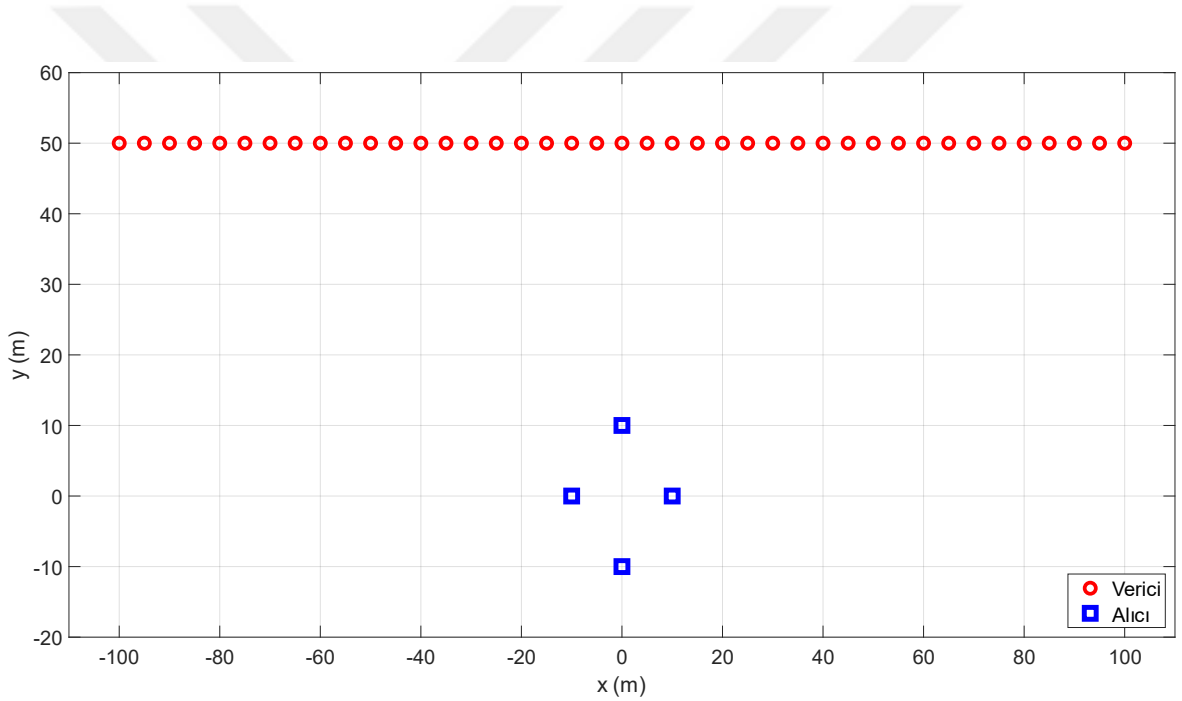
2.2.4. Doğrusal Bir Rotada İlerleyen Vericinin Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması

Bu benzetimde EADAD ile denklem (2.22) ve denklem (2.23)'te tanımlanan ve Şekil 2.15'te görülen doğrusal bir rotada hareket eden hedefin konum tespiti ve dört alıcılı dizinin

doğrultu açısı optimizasyonu yapılmıştır. Alıcılar iki boyutlu düzlemde denklem (2.13) ve denklem (2.14)'teki gibi yerleştirilmiş ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,0001/c^2$ alınmıştır. PSO ve KSO parametreleri Tablo 2.11 – Tablo 2.14'te verilmiştir. Ayrıca parçacıkların denklem (2.15) ve denklem (2.16) ile tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiş ve 1.000 bağımsız deneme sonucunda hesaplanan ortalama karesel hata (OKH ve OKH₀) ve teorik limit (CRAS ve OCRAS) eğrileri Şekil 2.16'da verilmiştir.

$$x = -100 + (5 \times (i - 1)), \quad 1 \leq i \leq 41 \quad (2.22)$$

$$y = 50 \quad (2.23)$$



Şekil 2.15. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi

Tablo 2.11. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	500
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.12. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	500
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

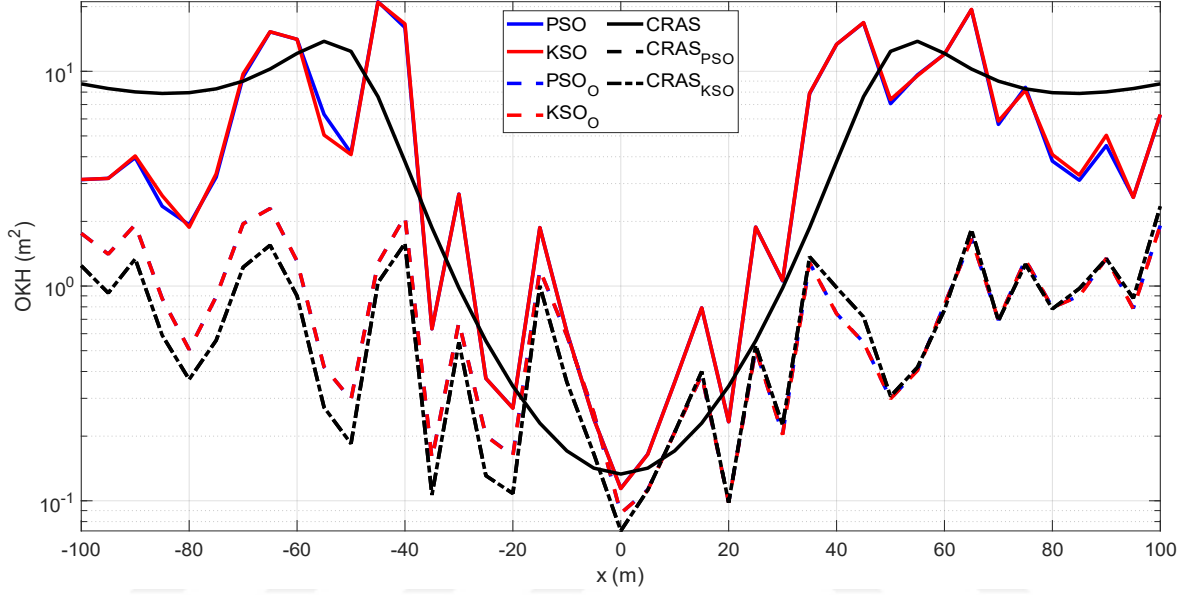
Tablo 2.13. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	36
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

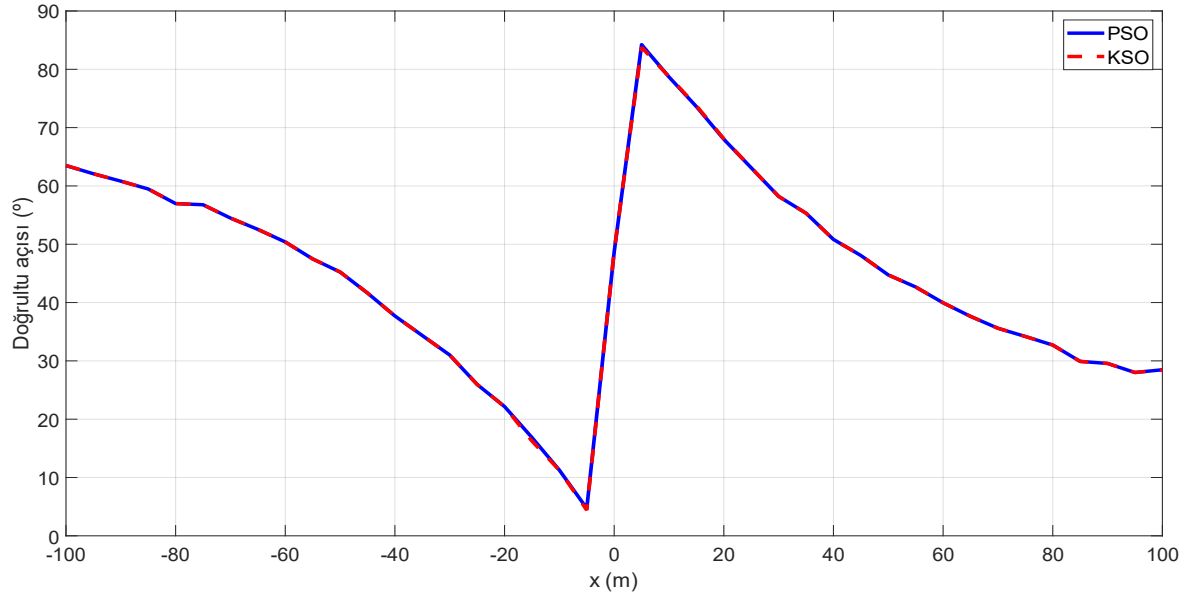
Tablo 2.14. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	36
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Şekil 2.16’da PSO ve KSO etiketleri DA optimizasyonundan önceki OKH’yi, PSO_0 ve KSO_0 etiketleri doğrultu açısı optimizasyonundan sonraki OKH’yi, CRAS etiketi doğrultu açısı optimizasyonundan önceki teorik hata limitini ve $CRAS_{PSO}$ ve $CRAS_{KSO}$ etiketleri doğrultu açısı optimizasyonundan sonraki ortalama CRAS değerlerini göstermektedir.



Şekil 2.16. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen OKH eğrileri



Şekil 2.17. EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri

Şekil 2.16’da $x = -15$ ve $x = 15$ noktaları dışında doğrultu açısı optimizasyonundan sonra CRAS’nin düştüğü görülmektedir. Benzer şekil de tüm test noktaları için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OKH azalmıştır. Ayrıca PSO ve KSO yöntemlerinin OKH, OKH₀ ve OCRAS değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Tablo 2.15’te 41 test noktası için elde edilen OKH değerlerinin ortalaması denklem (2.24) ve normalize değerleri denklem (2.25) ile hesaplanarak verilmiştir. Tablo 2.15’te doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik limit %87,5 ve karesel hata %85 azaltılmıştır. Hem teorik limit ve hem de karesel hata değerleri açısından KSO algoritması PSO’dan daha iyi sonuç vermiştir.

$$Ortalama(i) = \frac{1}{N_{tn}} \sum_{j=1}^{N_{tn}} Yöntem(i), \quad 1 \leq i \leq 7 \text{ ve } 1 \leq j \leq N_{tn} \quad (2.24)$$

$$Yöntem(i) = \{CRAS, OCRAS_{PSO}, OCRAS_{KSO}, PSO, PSO_0, KSO, KSO_0\}$$

$$Normalize(i) = 100 \times \frac{Ortalama(i)}{Ortalama(1)}, \quad i = 1, 2, 3$$

$$Normalize(i) = 100 \times \frac{Ortalama(i)}{Ortalama(4)}, \quad i = 4, 5 \quad (2.25)$$

$$Normalize(i) = 100 \times \frac{Ortalama(i)}{Ortalama(6)}, \quad i = 6, 7$$

Burada i yöntem indisi, j test noktası indisi ve N_{tn} test noktası sayısıdır.

Tablo 2.15. Dört alıcılı EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri

OKH	CRAS	OCRAS _{PSO}	OCRAS _{KSO}	PSO	KSO ₀	KSO	KSO ₀
Ortalama	5,9749	0,7442	0,7440	5,7510	0,8630	5,7469	0,8618
Normalize	100,000	12,4562	12,4523	100,000	15,0064	100,000	14,9955

Son olarak Şekil 2.17’de PSO ve KSO yöntemleri ile bulunan optimum doğrultu açılarının eğrileri görülmektedir. Yöntemler hemen hemen aynı doğrultu açılarını bulmuşlardır.

Sonuçlar: Bu kısımda EADAD ile doğrusal bir rotada hareket eden hedef için doğrultu açısı optimizasyonunda PSO ve KSO yöntemleri konumlandırma hatası açısından birbirleri ve teorik hata limiti ile kıyaslanmış olup, elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OKH ve CRAS aşağı çekilmiştir.
- KSO doğrultu açısı optimizasyonundan önce ve sonra OKH açısından daha iyi başarımlar göstermiştir.
- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OCRAS değerleri açısından KSO yöntemi PSO'dan daha iyi başarımlar sağlamıştır.

2.2.5. Doğrusal Bir Rotada İlerleyen Vericinin İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması

Bu benzetimde İBAD ile denklem (2.22) ve denklem (2.23)'te tanımlanan ve Şekil 2.18'de görülen doğrusal bir rotada hareket eden hedefin konum tespiti ve dört alıcılı dizinin doğrultu açısı optimizasyonu yapılmıştır. Alıcılar iki boyutlu düzlemde denklem (2.18) ve denklem (2.19)'daki gibi yerleştirilmiş ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,0001/c^2$ alınmıştır. Tablo 2.16 – Tablo 2.19'da PSO ve KSO parametreleri verilmiştir. Ayrıca parçacıkların denklem (2.20) ve denklem (2.21) ile tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiş ve 1.000 bağımsız deneme sonucunda hesaplanan OKH ve CRAS eğrileri Şekil 2.19'da verilmiştir.

Tablo 2.16. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	500
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.17. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri

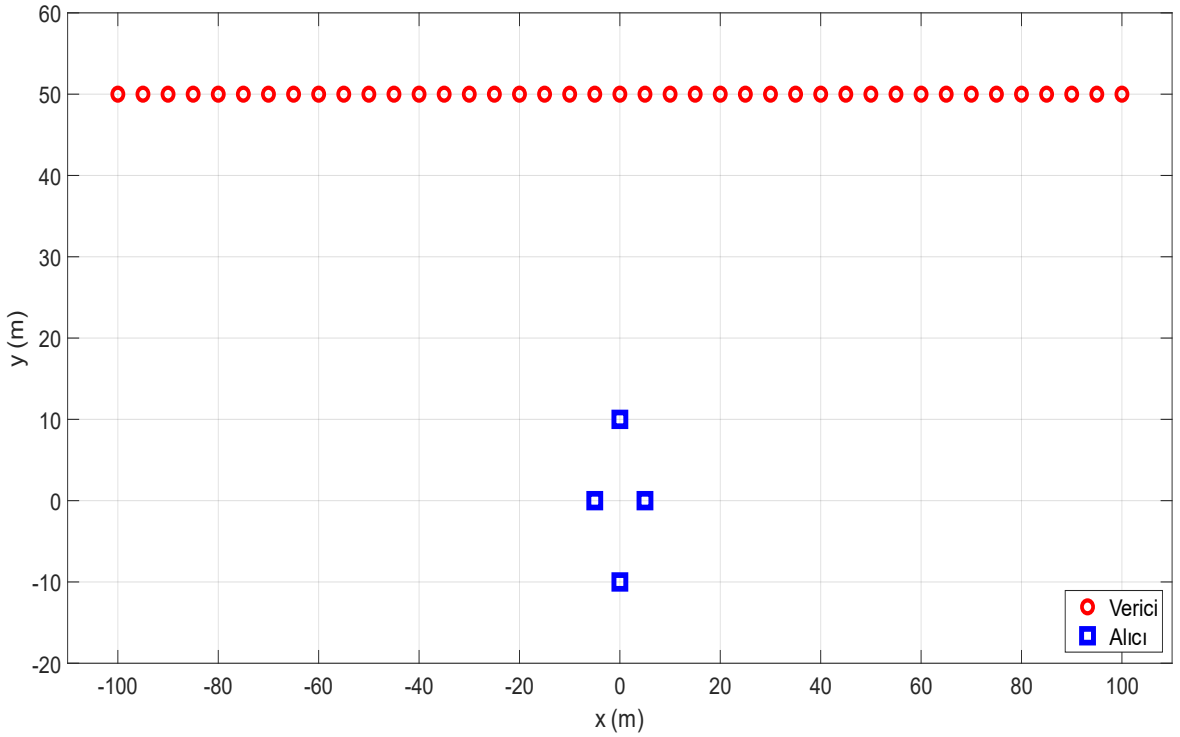
Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	500
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.18. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

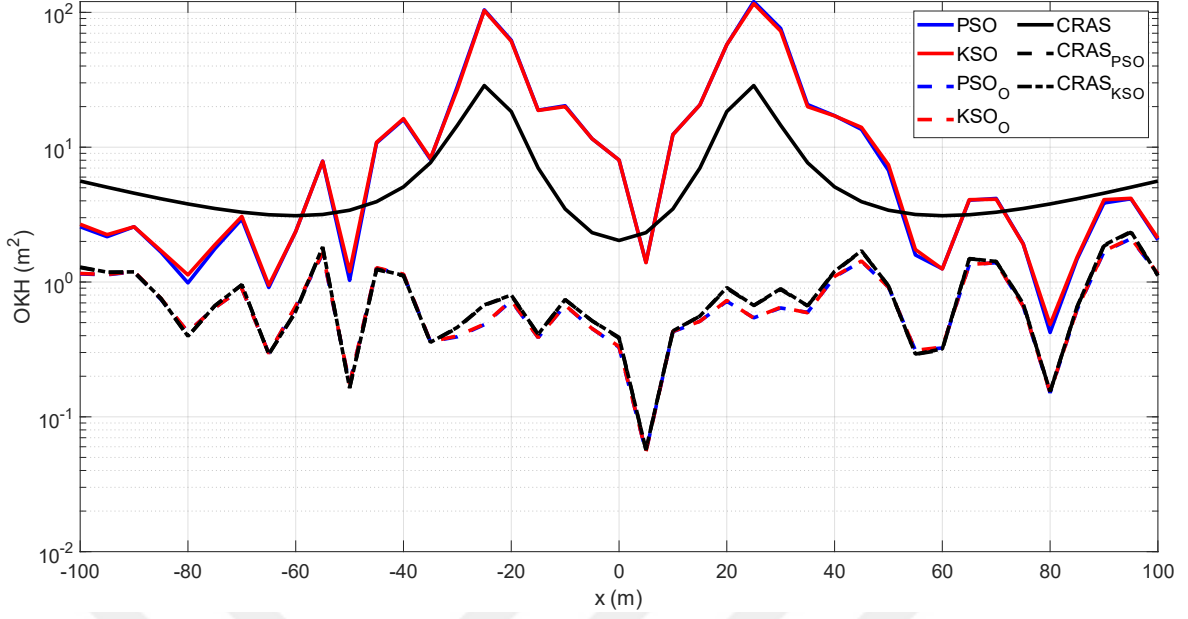
Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	36
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.19. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	36
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla



Şekil 2.18. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi



Şekil 2.19. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen OKH eğrileri

Şekil 2.19’da PSO ve KSO etiketleri doğrultu açısı optimizasyonunda önceki OKH’yi, PSO₀ ve KSO₀ etiketleri doğrultu açısı optimizasyonundan sonraki OKH’yi, CRAS etiketi doğrultu açısı optimizasyonundan önceki teorik hata limitini ve CRAS_{PSO} ve CRAS_{KSO} etiketleri doğrultu açısı optimizasyonundan sonraki ortalama CRAS değerini göstermektedir.

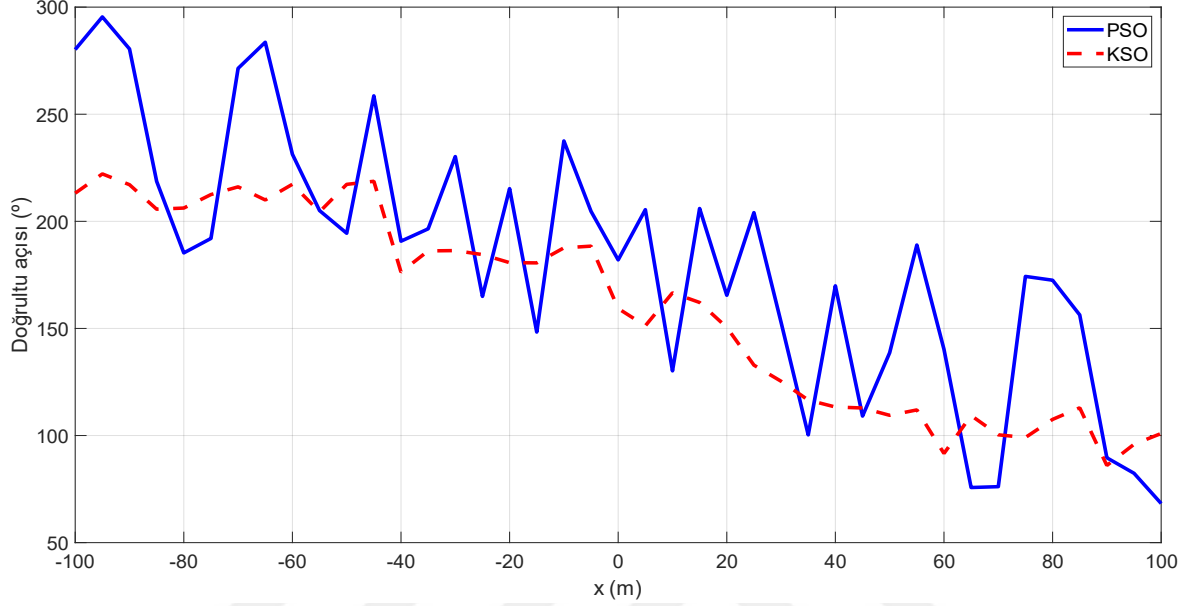
Şekil 2.19’da 41 test noktası için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra CRAS’nin ve OKH’nin azaldığı görülmektedir. Ayrıca KSO hem OKH ve CRAS değerleri açısından PSO’dan daha iyi başarımlar göstermiştir.

41 test noktası için sırasıyla denklem (2.24) ve denklem (2.25) ile hesaplanan ortalama ve normalize OKH değerleri Tablo 2.20’de sunulmuştur. Tablo 2.20’de doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik limit yaklaşık %87 ve karesel hata ise %95 azalmıştır. Hem teorik limit ve hem de karesel hata değerleri açısından KSO algoritması PSO’dan daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2.20. Dört alıcılı İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri

OKH	CRAS	OCRAS _{PSO}	OCRAS _{KSO}	PSO	PSO ₀	KSO	KSO ₀
Ortalama	6,5783	0,8341	0,8249	16,7362	0,7748	16,5005	0,7598
Normalize	100,000	12,6789	12,5403	100,000	4,6298	100,000	4,6049

Son olarak Şekil 2.20’de PSO ve KSO yöntemleri ile bulunan optimum doğrultu açılarının eğrileri görülmektedir. Yöntemler hedefin doğrusal rotası boyunca benzer optimum doğrultu açısı değerlerini elde etmiştir.



Şekil 2.20. İBAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri

Sonuçlar: Bu kısımda İBAD ile doğrusal bir rotada hareket eden hedef için doğrultu açısı optimizasyonunda PSO ve KSO algoritmaları konumlandırma hatası bakımından birbirleri ve teorik sınır ile kıyaslanmış olup, elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra her durumda OKH ve CRAS aşağı çekilmiştir.
- Konumlandırma doğruluğu ve teorik limit bakımından KSO algoritması PSO’dan daha iyi başarımlar göstermiştir.
- PSO ve KSO algoritmaları tüm hedef noktaları için benzer DA değerleri elde etmiştir.

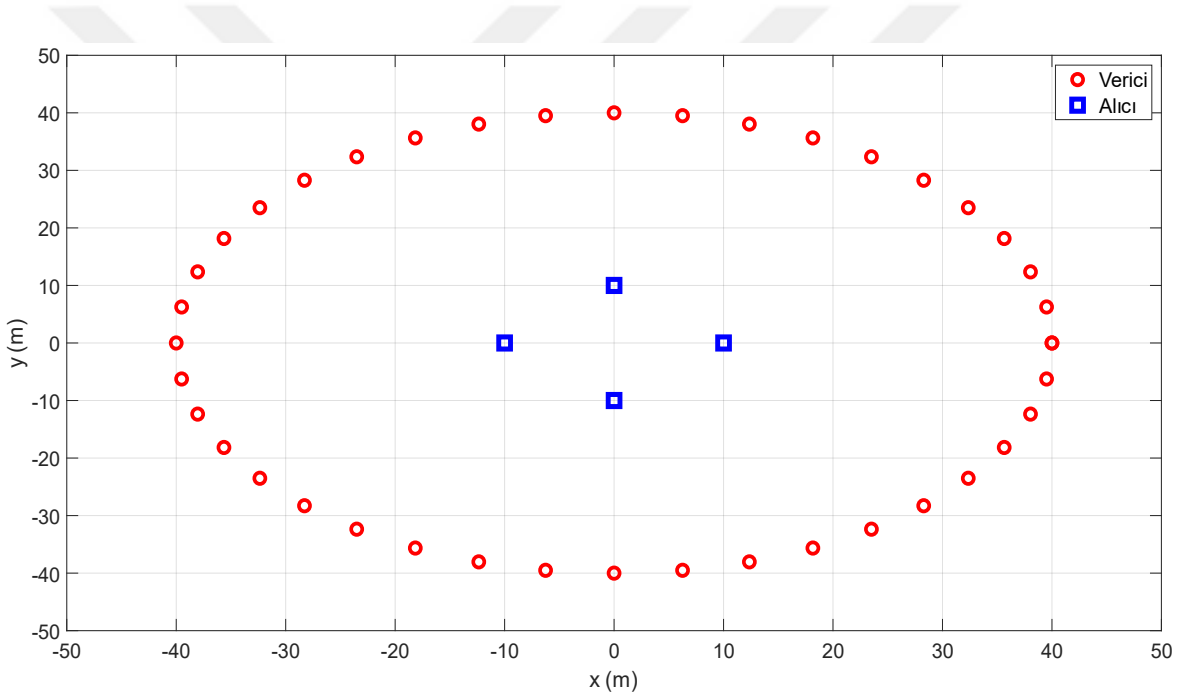
2.2.6. Dairesel Bir Rotada İlerleyen Vericinin Eş Açılı Dairesel Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması

Bu benzetimde EADAD ile denklem (2.26) ve denklem (2.27)’de tanımlanan ve Şekil 2.21’de görülen daireSEL bir rotada hareket eden hedefin konum tespiti ve dört alıcılı dizinin

doğrultu açısı optimizasyonu yapılmıştır. Alıcılar iki boyutlu düzlemde denklem (2.13) ve denklem (2.14)'te tanımlandığı gibi yerleştirilmiş ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,0001/c^2$ alınmıştır. Tablo 2.21 – Tablo 2.24'te PSO ve KSO parametreleri sunulmuştur ve parçacıkların denklem (2.15) ve denklem (2.16) ile tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiştir. 1.000 bağımsız deneme sonucunda hesaplanan ortalama karesel hata (OKH ve OKH₀) ve teorik limit (CRAS ve OCRAS) eğrileri Şekil 2.22'de verilmiştir.

$$x = 40 \times \cos(9 \times (i - 1) \times \pi/180), \quad 1 \leq i \leq 41 \quad (2.26)$$

$$y = 40 \times \sin(9 \times (i - 1) \times \pi/180), \quad 1 \leq i \leq 41 \quad (2.27)$$



Şekil 2.21. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi

Tablo 2.21. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	500
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.22. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri

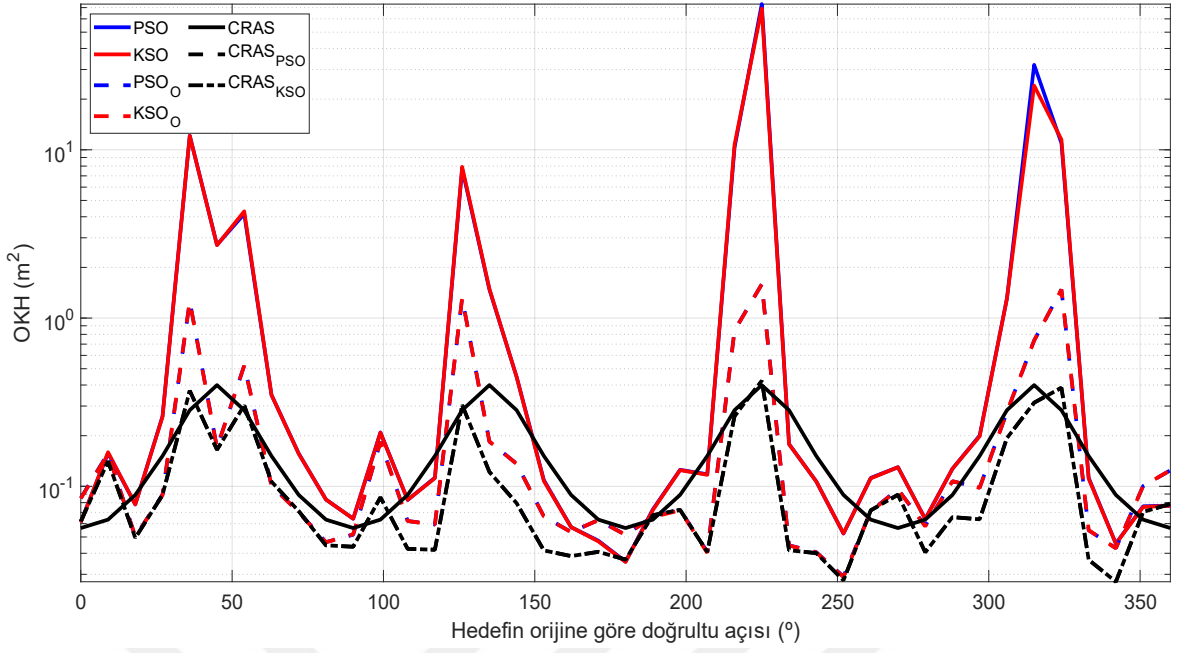
Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	500
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.23. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	36
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.24. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	36
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla



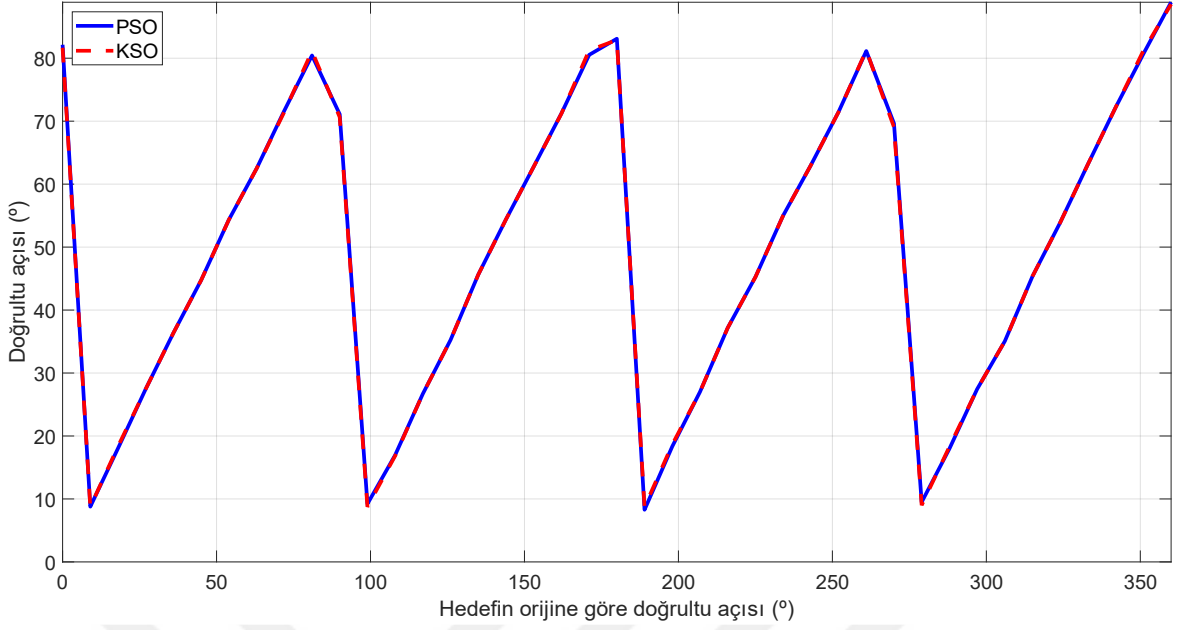
Şekil 2.22. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen ortalama karesel hata eğrileri

Şekil 2.22’de alıcı optimizasyonundan sonra dairesel rotanın tamamına yakın bir kısmında ortalama karesel hata (OKH_0) ve teorik limit ($OCRAS$) değerleri aşağı çekilmiştir. PSO ve KSO algoritmaları doğrultu açısı optimizasyonunun öncesinde ve sonrasında hemen hemen aynı konumlandırma hatası ve teorik limit eğrilerine sahiptir. Ayrıca doğrultu optimizasyonundan sonra PSO ve KSO yöntemlerinin OKH değerleri genelde CRAS’nin altına inmiştir.

41 test noktası için sırasıyla denklem (2.24) ve denklem (2.25) ile hesaplanan ortalama ve normalize OKH değerleri Tablo 2.25’te verilmiştir. Tablo 2.25’te doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik limitin %29 ve karesel hatanın %93 azaltılmış olduğu görülmektedir. Hem teorik limit ve hem de karesel hata değerleri açısından KSO algoritması PSO’dan daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2.25. Dört alıcılı EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri

OKH	CRAS	$OCRAS_{PSO}$	$OCRAS_{KSO}$	PSO	PSO_0	KSO	KSO_0
Ortalama	0,1605	0,1144	0,1140	3,9047	0,2622	3,6349	0,2375
Normalize	100,000	71,3144	71,0210	100,000	6,7148	100,000	6,5329



Şekil 2.23. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri

Şekil 2.23'te iki yöntemin de tüm rota boyunca hemen hemen aynı doğrultu açılarını elde ettiği görülmektedir.

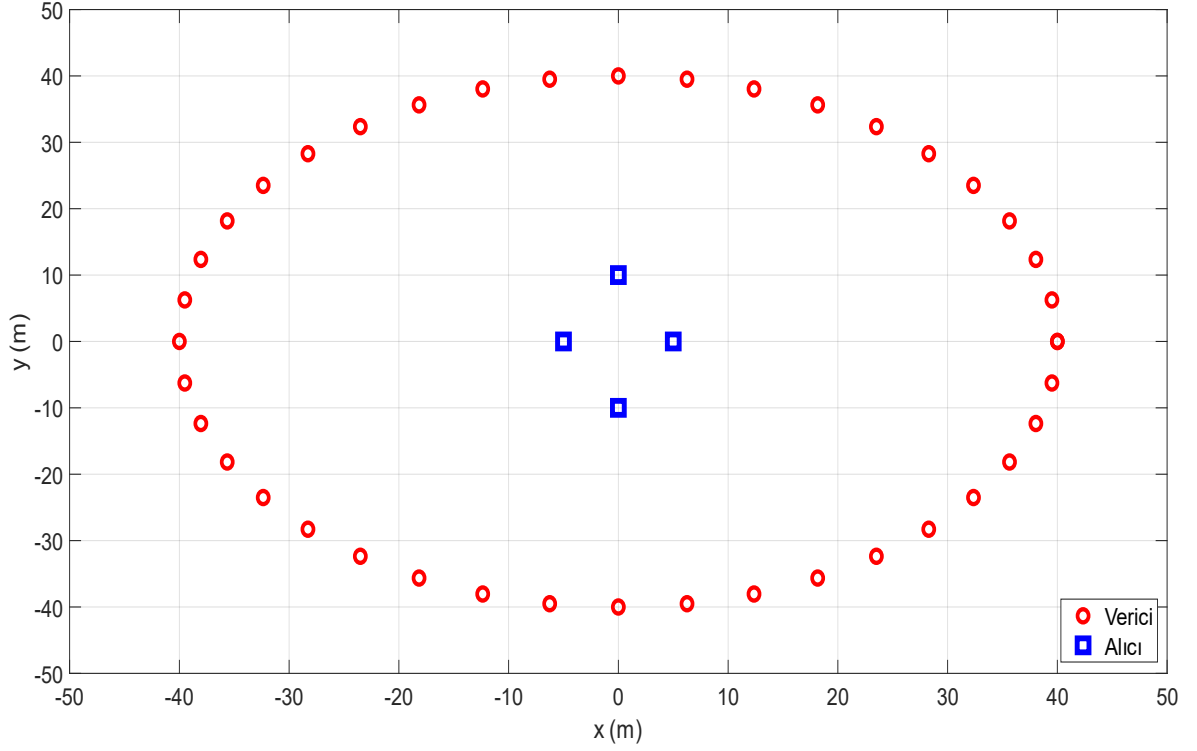
Sonuçlar: Bu kısımda EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen hedef için DA optimizasyonunda PSO ve KSO yöntemleri konumlandırma hatası açısından birbirleri ve teorik hata limiti ile kıyaslanmış olup, elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra belirlenen rotanın tamamına yakın bir kısmında OKH ve CRAS değerleri aşağı çekilmiştir. Bu durum doğrultu açısı optimizasyonun konumlandırma doğruluğu üzerindeki pozitif katkısını açıkça göstermektedir.
- Konumlandırma doğruluğu ve teorik limit bakımından KSO algoritması PSO'dan daha iyi sonuç vermiştir.
- Tüm rota boyunca PSO ve KSO yöntemleri hemen hemen aynı DA değerlerini elde etmiştir.

2.2.7. Dairesel Bir Rotada İlerleyen Vericinin İki Boyutlu Alıcı Dizisi ile Konumlandırılması

Bu benzetimde İBAD ile denklem (2.26) ve denklem (2.27)'te tanımlanan ve Şekil 2.24'te görülen dairesel bir rotada hareket eden hedefin konumlandırılması ve dört alıcılı

dizinin DA optimizasyonu yapılmıştır. Alıcılar iki boyutlu düzlemde denklem (2.18) ve denklem (2.19)'daki gibi yerleştirilmiş ve gürültü varyansı $\sigma^2 = 0,0001/c^2$ alınmıştır. Tablo 2.26 – Tablo 2.29'da PSO ve KSO parametreleri sunulmuş olup, parçacıkların denklem (2.20) ve denklem (2.21) ile tanımlanan arama uzayının dışına çıkması engellenmiştir. 1.000 bağımsız deneme sonucunda hesaplanan ortalama karesel hata (OKH ve OKH₀) ve teorik limit (CRAS ve OCRAS) eğrileri Şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 2.24. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında verici-alıcı geometrisi

Tablo 2.26. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Parçacık adedi	100
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	500
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.27. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında KSO benzetim parametreleri

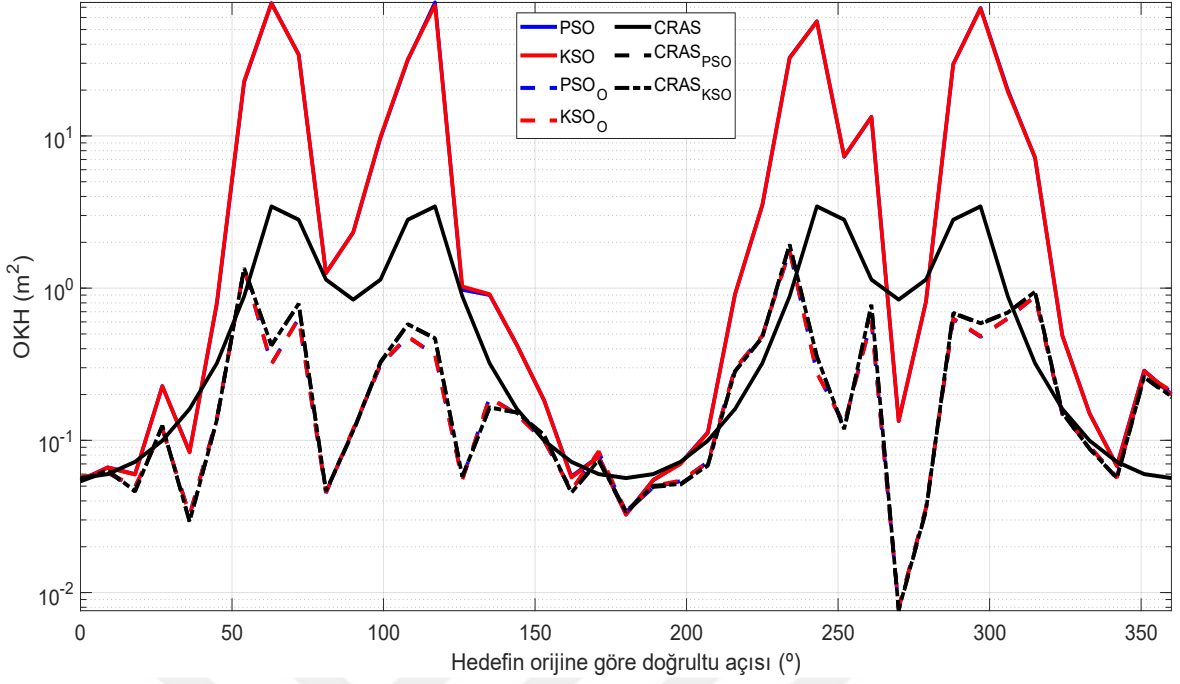
Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	2
Kril adedi	100
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	500
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.28. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda PSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Parçacık adedi	36
Ağırlıklandırma faktörleri	$C_1 = 2$ ve $C_2 = 2$
Maksimum parçacık hızı	2
Maksimum yineleme sayısı	50
Parçacık yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla

Tablo 2.29. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılması için DA optimizasyonunda KSO benzetim parametreleri

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Çözüm uzayı boyutu	1
Kril adedi	36
Çaprazlama işlemi	Yok
Besin araştırma hızı	0,0050
Maksimum yayılım hızı	0,0050
Maksimum uyarılmış hız	0,0100
Maksimum yineleme sayısı	50
Kril yerleşimi	Çözüm uzayında birbirlerine eşit aralıklarla



Şekil 2.25. İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen ortalama karesel hata eğrileri

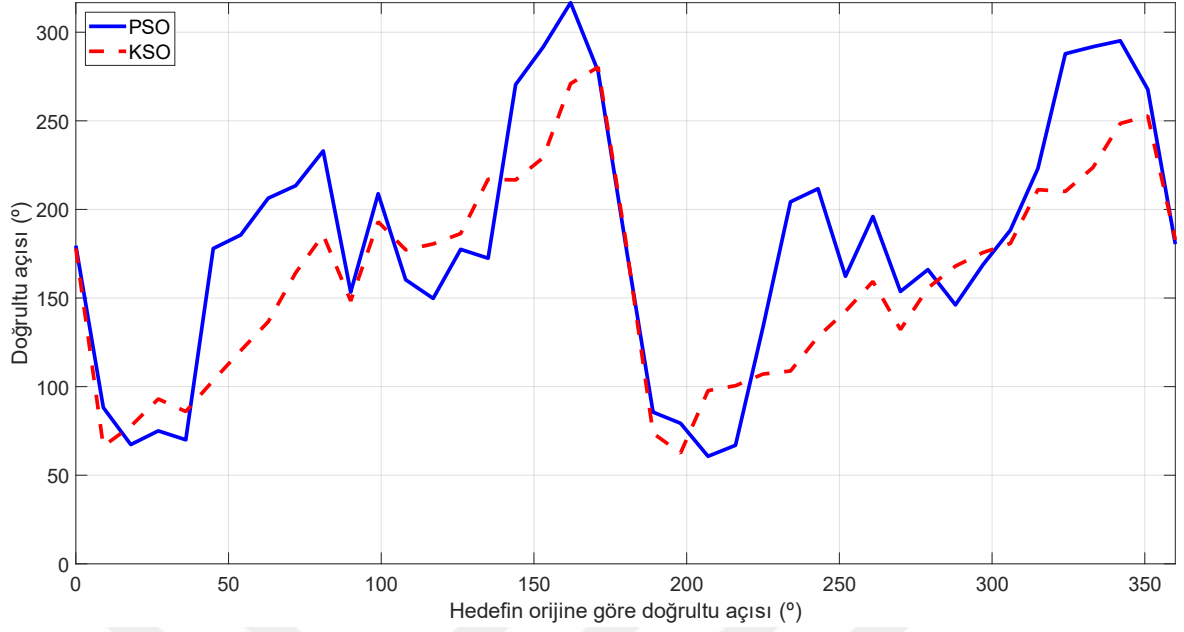
Şekil 2.25'te genel olarak doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik limitinin (OCRAS) aşağıya çekildiği görülmektedir. Ayrıca tüm hedef noktalar için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OKH değerleri belirgin bir şekilde azaltılmıştır.

41 test noktası için sırasıyla denklem (2.24) ve denklem (2.25) ile hesaplanan ortalama ve normalize OKH değerleri Tablo 2.30'da verilmiştir. Tablo 2.30'da doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik limitin %66 ve karesel hatanın %97 azaltıldığı görülmektedir. Hem teorik limit ve hem de karesel hata değerleri açısından KSO algoritması PSO'dan daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2.30. Dört alıcılı İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konum tespitinde karesel hata değerleri

OKH	CRAS	OCRAS _{PSO}	OCRAS _{KSO}	PSO	PSO ₀	KSO	KSO ₀
Ortalama	0,9224	0,3162	0,3103	12,1451	0,2906	12,0608	0,2791
Normalize	100,000	34,2799	33,6471	100,000	2,3925	100,000	2,3140

Şekil 2.26'da PSO ve KSO tarafından bulunan optimum DA eğrileri görülmektedir. İki yöntem de hedef rotası boyunca birbirlerine yakın DA'lar tespit etmiştir.



Şekil 2.26. EADAD ile dairesel bir rotada ilerleyen vericinin konumlandırılmasında elde edilen doğrultu açısı eğrileri

Sonuçlar: Bu kısımda İBAD ile dairesel bir rotada ilerleyen hedef için DA optimizasyonunda, elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Doğrultu açısı optimizasyonundan sonra hedef noktalarının büyük çoğunluğunda teorik hata limiti (CRAS) aşağı çekilmiştir.
- Konumlandırma doğruluğu bakımından KSO algoritması doğrultu açısı optimizasyonu öncesinde ve sonrasında PSO'yu geçmiştir.
- Tüm rota boyunca PSO ve KSO yöntemleri benzer DA değerlerini bulmuştur.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada küresel VZF seti kullanılarak sabit veya hareketli hedeflerin koordinatları eş açılı dairesel veya iki boyutlu alıcı dizileri kullanılarak KSO ve PSO algoritmaları ile kestirilmiştir. Ayrıca alıcı dizilerinin doğrultu açıları (DA) KSO ve PSO yöntemleri ile optimize edilmiş ve konumlandırma doğruluğunda ciddi bir artış sağlanmıştır. Sunulan bu yüksek lisans tezi kapsamında elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- VZF kullanılarak konum tespitinde iki boyutlu alıcı dizilerinin doğrultu açıları ilk kez bu çalışmada KSO ile optimize edilmiştir.
- İlk kez bu çalışmada VZF ile konumlandırmada alıcı dizilerinin doğrultu açısı optimizasyonunda PSO ve KSO algoritmaları birbirleriyle yakınsama hızı ve karesel hata açısından kıyaslanmıştır.
- İki boyutlu alıcı dizilerinin doğrultu açıları KSO ile optimize edildiğinde teorik hata limitinin (CRAS) aşağı çekilebileceği ilk kez bu çalışmada gösterilmiştir.
- Eş açılı dairesel alıcı dizisi (EADAD) ile konum tespitinde tüm alıcı sayıları için doğrultu açısı optimizasyonundan sonra CRAS ve OKH değerlerinde belirgin bir azalma sağlanmıştır.
- EADAD ile konumlandırma da tüm alıcı geometrilerinde doğrultu açısı optimizasyonundan önce ve sonra KSO yöntemi PSO'dan daha yüksek konumlandırma doğruluğu sağlamıştır.
- EADAD ile hedef koordinatlarının kestiriminde tüm alıcı sayılarında hem konumlandırma ve hem de doğrultu açısı optimizasyonunda PSO algoritması KSO'dan daha hızlı yakınsamıştır.
- İki boyutlu alıcı dizisi (İBAD) ile konum tespitinde doğrultu açısı optimizasyonundan sonra tüm alıcı geometrileri için CRAS ve OKH değerleri belirgin bir şekilde düşmüştür.
- İBAD ile konumlandırmada tüm alıcı geometrilerinde doğrultu açısı optimizasyonundan önce ve sonra KSO yöntemi PSO'ya göre daha yüksek konumlandırma doğruluğuna sahiptir.

- İBAD ile hedef koordinatlarının bulunmasında tüm alıcı sayıları için konum tespitinde KSO ve doğrultu açısı optimizasyonunda PSO daha hızlı yakınsamıştır.
- EADAD ile doğrusal bir rotada ilerleyen hedefin konum tespitinde doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OKH ve CRAS aşağı çekilmiş ve konumlandırma doğruluğu açısından KSO algoritması PSO'dan daha iyi başarımlar sağlamıştır.
- EADAD ile doğrusal bir rotayı izleyen hedefin koordinatlarının tespitinde PSO ve KSO algoritmaları birbirlerine oldukça yakın doğrultu açısı değerleri bulmuştur.
- İBAD ile doğrusal bir rotayı takip eden hedefin koordinatlarının bulunmasında doğrultu açısı optimizasyonundan sonra test noktalarının tamamına yakınında OKH ve CRAS değerleri aşağı çekilmiş ve konumlandırma doğruluğu bakımından KSO algoritması PSO'yu geçmiştir.
- İBAD ile doğrusal bir rotayı takip eden hedefin konumunun tespitinde PSO ve KSO benzer DA değerleri bulmuştur.
- EADAD ile dairesel bir rotada hareket eden hedefin konumlandırılmasında doğrultu açısı optimizasyonundan sonra OKH ve CRAS değerleri aşağı çekilmiş ve KSO yöntemi PSO'dan daha düşük OKH değerleri vermiştir.
- EADAD ile dairesel bir rota izleyen hedefin koordinatlarının bulunmasında tüm rota boyunca PSO ve KSO yöntemleri hemen hemen aynı DA değerlerini bulmuştur.
- İBAD ile dairesel bir rotayı takip eden hedefin konumunun tespitinde doğrultu açısı optimizasyonundan sonra teorik hata limiti aşağı çekilmiş olup, PSO ve KSO algoritmaları konumlandırma doğruluğu bakımından test noktalarının büyük çoğunluğunda teorik sınırını (CRAS) geçmiştir.
- İBAD ile dairesel bir rotayı izleyen hedefin konumlandırılmasında konumlandırma doğruluğu bakımından KSO algoritması doğrultu açısı optimizasyonu öncesinde ve sonrasında PSO'dan daha düşük OKH değerleri elde etmiş ve tüm rota boyunca PSO algoritması ile benzer DA değerleri bulmuştur.

4. ÖNERİLER

İlk kez bu çalışmada, KSO ile bağımsız VZF seti kullanılarak iki boyutlu düzlemde sabit veya hareketli bir vericinin konumunun tespiti için alıcı dizilerinin doğrultu açıları optimize edilmiş ve KSO'nun karesel konumlandırma hatası hem PSO ve hem de CRAS ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçları daha da ilerilere taşımak ve bu konuda çalışan araştırmacılara yol göstermek amacıyla hedef koordinatlarının kestirimi ve alıcı dizilerinin doğrultu açısının optimizasyonuna yönelik başlıca öneriler şunlardır:

- Bu çalışmada verici koordinatları ve alıcı dizisi optimizasyonu iki boyutlu düzlemde yapılmıştır. Sunulan benzetimler üçüncü boyuta aktarılabilir ve yöntemlerin üç boyutlu çözüm uzayındaki başarımları karşılaştırılabilir.
- Benzetim çalışmalarında eş açılı dairesel alıcı dizisinin (EADAD) doğrultu açısının (DA) optimizasyonu yapılmıştır. EADAD'nin her bir alıcısının, bulundukları daire üzerindeki konumu ayrı ayrı optimize edilerek konumlandırma başarımı artırılabilir.
- İki boyutlu alıcı dizisi (İBAD) belirlenen bir yüzey içerisinde kalacak şekilde dizideki her bir alıcının (x, y) koordinatları optimize edilerek konumlandırma hatası azaltılabilir.
- Farklı hareket senaryoları ve alıcı dizilimleri için PSO ve KSO algoritmalarının konumlandırma doğrulukları kıyaslanabilir.
- Hedef koordinatlarının tespitinde farksal gelişim, gelişimsel programlama, genetik programlama, genetik algoritma, balina optimizasyon algoritması, gri kurt optimizasyonu, gelişimsel strateji, karınca kolonisi optimizasyonu ve yapay arı kolonisi gibi diğer sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılabilir.
- Gerçekleştirilen benzetimlerde, hedef ile alıcılar arasında doğrudan görüşün mevcut olduğu kabul edilmiştir. Hedef ile alıcı arasında doğrudan görüşün bulunmadığı durumlar için de konumlandırma ve alıcı dizisi optimizasyonu yapılabilir.
- Sunulan benzetim sonuçlarında sinyalin ortamdaki yayılma hızının tam olarak bilindiği varsayılmıştır. Konum tespiti ve alıcı dizisi optimizasyonu yayılma hızının bilinmediği durumlar için de yapılabilir.

- Geekleřtirilen benzetim çalışmalarında alıcı dizisindeki alıcıların koordinatlarının hatasız olarak bilindiği var sayılmıştır. Alıcı koordinatlarındaki hatanın konumlandırma ve alıcı dizisi optimizasyonundaki üzerindeki etkisi irdelenebilir.



5. KAYNAKLAR

1. Huang, B., Xie, L. ve Yang, Z., TDOA Based Source Localization with Distance Dependent Noises, IEEE Transactions on Wireless Communications, 14,1 (2015) 468-480.
2. Alvarez, R., Diez-Gonzalez, J., Sanchez-Gonzalez, L. ve Perez, H., Combined Noise and Clock CRLB Error Model for the Optimization of Node Location in Time Positioning Systems, IEEE Access, 8 (2020) 31910-31919.
3. Sadeghi, M., Behnia F. ve Amiri, R., Optimal Geometry Analysis for TDOA-Based Localization Under Communication Constraints, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 57,5 (2021) 3096-3106.
4. Temizkan, M., Tüzüner, B.M. ve Çakır, O., Varış Zamanları Farkı ile Konum Tespitinde İki Boyutlu Alıcı Dizisi Optimizasyonu, 7. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Mart 2020, Ankara, Bildiri Kitabı, 387 – 398.
5. Evennou, F., Marx, F. ve Nacivet, S., An Experimental TDOA UWB Location System for NLOS Environments, Vehicular Technology, 62 (2005) 420-423.
6. Kang, C., Lee, H. ve Oh, C., NLOS Signal Detection Algorithm for TDOA Method in Wireless Sensor Network, Advanced Communication Technology, 11 (2009) 901-904.
7. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A., Cakir, Ö. ve Tugcu, E., Emitter Location Finding using Particle Swarm Optimisation, Radioengineering, 23,1 (2014) 252–258.
8. Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A. ve Cakir, Ö., Dynamic Orientation of Receiver Array using Particle Swarm Optimisation, Electronics Letters, 49,21 (2013) 1313– 1315.
9. Ting, S. ve Yong, G., TDOA Estimation of Dual Satellites Interference Localization Based on Blind Separation, Journal of Systems Engineering and Electronics, 30,4 (2019) 696-702.
10. Gardner, W. A. ve Spooner, C. M., Comparison of Autocorrelation and Cross Correlation Methods for Signal Selective TDOA Estimation, IEEE Transactions on Signal Processing, 40,10 (1992) 2606-2608.
11. Zhang, L., Zhang, T. ve Shin, H. S., An Efficient Constrained Weighted Least Squares Method With Bias Reduction for TDOA Based Localization, IEEE Sensors Journal, 21,8 (2021) 10122-10131.

12. Cao, S., Chen, X., Zhang, X. ve Chen, X., Combined Weighted Method for TDOA Based Localization, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 69,5 (2020) 1962-1971.
13. Velasco, J., Pizarro, D., Macias-Guarasa J. ve Asaei, A., TDOA Matrices Algebraic Properties and Their Application to Robust Denoising with Missing Data, IEEE Transactions on Signal Processing, 64,20 (2016) 5242-5254.
14. Kim, H. J., Xie, Y., Yang, H., Lee, C. ve Song, T. L., An Efficient Indoor Target Tracking Algorithm Using TDOA Measurements with Applications to Ultra Wideband Systems, IEEE Access, 7 (2019) 91435-91445.
15. 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.
16. Abel, J., Optimal Sensor Placement for Passive Source Localization, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Nisan 1990, California, Bildiriler Kitabı, 2927 – 2930.
17. 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, Bildiriler Kitabı, 961–964.
18. 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, Bildiriler Kitabı, 901–904.
19. Yang, B., Different Sensor Placement Strategies for TDOA Based Localization, International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Nisan 2007, Hawaii, Bildiriler Kitabı, 1093–1096
20. 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.
21. 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, Bildiriler Kitabı, 1–5.
22. 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.
23. 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, Bildiriler Kitabı, 1897–1902.

24. 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, Bildiriler Kitabı, 788–793.
25. Jean, O. ve Weiss, A. J., Passive Localization and Synchronization Using Arbitrary Signals, IEEE Transactions on Signal Processing, 8,15 (2014) 2143–2150.
26. Rui, L. ve Ho, K. C., Elliptic Localization Performance Study and Optimum Receiver Placement, IEEE Transactions on Signal Processing, 62,18 (2014) 4673–4688.
27. 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.
28. Kennedy, J. ve Eberhart, R., Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Kasım 1995, Perth, Bildiriler Kitabı, 1942–1948.
29. Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, First Edition, University of Michigan Press, London, 1975.
30. Storn, R. ve Price, K., Differential Evolution A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization, 11 (1997) 341–359.
31. Sun, J., Feng, B. ve Xu, W. B., Particle Swarm Optimization with Particles Having Quantum Behavior, IEEE Proceedings of Congress on Evolutionary Computation, Haziran 2004, USA, Bildiriler Kitabı, 325–331.
32. Sun, J., Xu, W. B. ve Feng, B., A Global Search Strategy of Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization, IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Aralık 2004, Singapore, Bildiriler Kitabı, 111–116.
33. Reeves, W. T., Particle Systems A Technique for Modelling a Class of Fuzzy Objects, ACM Transactions Graphics, 2,2 (1983) 91–108.
34. Reynolds, C. W., Flocks Herds and Schools A Distributed Behavioral Model, ACM SIGGRAPH Conference Proceedings, Temmuz 1987, California, Bildiriler Kitabı, 21,4 25–34.
35. 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) 58–73.
36. Clerc, M., The Swarm and the Queen Towards a Deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Temmuz 1999, Washington, Bildiriler Kitabı, 1951–1957.

37. Carlisle, A. ve Dozier, G., Adapting Particle Swarm Optimization to Dynamic Environments, Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Ocak 2000, Bildiriler Kitabı, 429–434.
38. Stacey, A., Jancic, M. ve Grundy, I., Particle Swarm Optimization with Mutation, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Aralık 2003, Canberra, Bildiriler Kitabı, 1425–1430.
39. Jie, X. ve Deyun, X., New Metropolis Coefficients of Particle Swarm Optimization, Chinese Control and Decision Conference, Temmuz 2008, Yantai, Bildiriler Kitabı, 3518–3521.
40. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. ve Vecchi, M., Optimization by Simulated Annealing, Science, 220 (1983) 671–680.
41. Kennedy, J. ve Mendes, R., Population Structure and Particle Swarm Performance, Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, Mayıs 2002, Honolulu, Bildiriler Kitabı, 1671–1676.
42. Kennedy, J., Small Worlds and Mega-Minds Effects of Neighborhood Topology on Particle Swarm Performance, Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, Temmuz 1999, Washington, Bildiriler Kitabı, 1931–1938.
43. Kennedy, J. ve Mendes, R., Population Structure and Particle Swarm, Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, Mayıs 2002, Honolulu, Bildiriler Kitabı, 1671–1676.
44. Mendes, R., Kennedy, J. ve Neves, J., Watch thy Neighbor or How the Swarm can Learn from its Environment, Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium, Nisan 2003, Indianapolis, Bildiriler Kitabı, 88–94.

ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Şehit Cavit Köroğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2016 yılında bu bölümden Elektrik-Elektronik Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitime başladı. Lisansüstü eğitimi süresince konumlandırma sistemleri, optimizasyon algoritmaları, sistem modelleme, süreç denetimi ve sayısal kontrol alanlarında çalışma yapmış olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Diğer Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Güney, A., Temizkan, M., Tekin, S., Samuk, D. C. ve Çakır, O., Temperature Control of an Electric Furnace with Intuitive Control Methods, Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 5, 1 (2020) 3-8.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Temizkan, M., Tüzüner, B.M. ve Çakır, O., Varış Zamanları Farkı ile Konum Tespitinde İki Boyutlu Alıcı Dizisi Optimizasyonu, 7. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Mart 2020, Ankara, Bildiriler Kitabı: 387 – 398.
2. Tüzüner, B.M., Temizkan, M. ve Çakır, O., Varış Zamanları Farkı ile Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Kullanılarak Hedef Konumu Tespiti, 7. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Mart 2020, Ankara, Bildiriler Kitabı: 375 – 398.
3. Tekin, S., Temizkan, M. ve Çakır, O., Parçacık sürüsü Optimizasyonu ile Oransal İntegral Türevsel Denetleyici Parametrelerinin Hata Alanı Tabanlı Uygunluk Fonksiyonları Kullanılarak Ayarlanması, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel yaklaşımlar Kongresi Uygulamalı Bilimler, Aralık 2019, Samsun, Bildiriler Kitabı: 361 – 371.
4. Güney, A., Tekin, S., Temizkan, M., Samuk, D. C. ve Çakır, O., Bir Elektrik Fırının Gerçek Zamanlı Sayısal Kontrolü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi, Kasım 2019, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 1 – 5.