



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA GRAF BAĞLILIĞIN
KONUMLANDIRMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN VE HATALI
KONUMLANDIRILAN SENSÖR DÜĞÜMLERİNİN
İNCELENMESİ**

FEYZA NUR ÇAKICI

**ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Tolga EREN**

KIRIKKALE-2022

KABUL-ONAY

Feyza Nur ÇAKICI tarafından hazırlanan “KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA GRAF BAĞLILIĞIN KONUMLANDIRMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN VE HATALI KONUMLANDIRILAN SENSÖR DÜĞÜMLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ /OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tolga EREN

İmza.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Şerafettin EREL

İmza.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Murat LÜY

İmza.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Anneme, Babama ve Canım Kardeşime...

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Feyza Nur ÇAKICI

...../...../2022

ÖZET

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA GRAF BAĞLILIĞIN KONUMLANDIRMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN VE HATALI KONUMLANDIRILAN SENSÖR DÜĞÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tolga EREN

Mayıs 2022, 117 sayfa

Teknolojinin gelişmesi kablosuz sensör ağlara (KSA) olan ilgiyi arttırmaktadır. Literatürde KSA'lara ait birçok farklı uygulamalar bulunmaktadır. KSA'lar birden fazla ucuz sensör düğümlerinden meydana gelmektedir. Sensör düğümleri ortamdaki veriyi toplayabilme, işleyebilme ve baz istasyonuna iletebilme donanımına sahiptir. Toplanan verilerin anlamlı hale gelebilmesi için konumunun belirlenmesi önemli ve bu sorun konumlandırma problemi olarak adlandırılmaktadır. Konumlandırma problemini çözebilme için literatürde mesafeye bağlı ve mesafeden bağımsız konumlandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Mesafeye bağlı konumlandırmada, konumu bilinen çapa düğümleri ile konumu tespit edilmemiş sensör düğümleri arasındaki mesafe kullanılmaktadır. Mesafeden bağımsız konumlandırma da ise hop sayısı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında konum belirleme problemini çözebilme için iki senaryo ele alınmıştır. Her iki senaryoda konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin iletim aralığında bulunan çapa düğümleri ile komşu olan sensör düğümlerin mesafeleri ölçülerek konumu tespit edilmiştir. Ayrıca birinci senaryoda ise Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu (ACO_R) ve Girdap Arama Algoritması (VSA) kullanılmıştır. İkinci senaryoda ise bu üç algoritmalara ek olarak Yabani Ot Optimizasyon (IWO) algoritması eklenmiştir. İkinci senaryoda k-bağılılık özelliği kullanılarak elde edilen iletim aralığı PSO, ACO_R, VSA ve IWO algoritmalarına uygulanmıştır. MATLAB ortamında her iki senaryo simüle edilmiştir. Kullanılan algoritmaların ortalama hata değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları şekiller ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Her bir iletim aralığında bazı sensör düğümlerinin tahmini konumlarında hata meydana gelmiştir. Tahmini konumlarında hata meydana gelen sensör düğümleri tespit edilmiş ve hatanın nedenleri açıklanarak literatüre katkı sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Konumlandırma Problemi, K-Bağılılık, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu, Girdap Arama Algoritması, Yabani Ot Optimizasyonu, Hatalı Konumlandırılan Sensör Döğümleri



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GRAPH CONNECTIVITY ON POSITIONING AND MISPLACED SENSOR NODES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, Master D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Tolga EREN

May 2022, 117 pages

The development of technology increasing the interest in Wireless Sensor Networks (WSN). There are many different applications of WSN's in the literature. WSN's consist of multiple inexpensive sensor nodes. Sensor nodes are equipped to collect, process, and transmit data from the environment to the base station. It is important to determine the position of the collected data in order to become meaningful and this problem is called the positioning problem. In order to solve the positioning problem, distance dependent and distance independent positioning methods are used in the literature. In distance dependent positioning, the distance between anchor nodes whose position is known and sensor nodes whose position is not detected is used. The number of hops is used in positioning independent of distance. In this thesis study, two scenarios are considered in order to solve the positioning problem. In both scenarios, the location of the sensor nodes whose location is unknown is measured by measuring the distances of the anchor nodes located in the transmission range and the adjacent sensor nodes. In addition, in the first scenario, Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACO_R) and Vortex Search Algorithm (VSA) were used. In the second scenario, in addition to these three algorithms, Invasive Weed Optimization (IWO) algorithm was added. In the second scenario, the k-connectivity obtained using transmission range was applied to PSO, ACO_R, VSA and IWO algorithms. Both scenarios are simulated in the MATLAB environment. The average error values of the algorithms used were calculated and the results obtained were compared. Simulation results are presented in shapes and charts. Errors occurred in the estimated positions of some sensor nodes in each transmission range. Sensor nodes with errors in their estimated positions were detected and the reasons for the error were explained, contributing to the literature.

Key words: Localization Problem, K-Connectivity, Particle Swarm Optimization, Ant Colony Optimization for Continuous Domains, Vortex Search Algorithm, Invasive Weed Optimization, Incorrectly Positioned Sensor Nodes



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca hiçbir yardımını esirgemeyen, bilgi ve birikimi ile ışık tutan saygı değer danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Tolga Eren'e sonsuz teşekkür eder ve saygılarımı sunarım. Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan haklarını asla ödeyemeyeceğim babam Eyyup Çakıcı'ya ve annem Züleyha Çakıcı'ya ayrıca her zaman varlığı ile bana destekçi olan kardeşim Kübranur Çakıcı'ya teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xx
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	1
1.2. Tezin Amacı ve Önemi.....	6
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI	8
2.1. Kablosuz Sensör Ağın Tarihçesi	8
2.2. Kablosuz Sensör Ağları ve Özellikleri	8
2.3. KSA'nın Yapısı	9
2.4. Sensör Düğümünün Bileşenleri	10
2.4.1. Sensör Birimi	11
2.4.2. İşlemci Birimi	11
2.4.3. Alıcı-Verici Birimi.....	11
2.4.4. Güç Kaynağı Birimi.....	12
2.4.5. Bellek Birimi.....	12
2.5. KSA'nın Protokol Yığını.....	12
2.6. Uygulama Alanları	14
2.6.1. Askeri Uygulamalar	15
2.6.1.1. İzinsiz Giriş Tespiti	15
2.6.1.2. Savaş Alanını İzleme.....	15
2.6.1.3. Geçici ve Helikopter Tespiti için Aeorastat Akustik Yüğü.....	16
2.6.1.4. Askeri Operasyonlarda İletişim.....	16
2.6.1.5. Erken Saldırı Reaksiyon Algılayıcı.....	16
2.6.1.6. Keskin Nişancı Tespiti	17
2.6.2. Sağlık Uygulamaları	17
2.6.2.1. Gerçek Zamanlı EKG İzleme Modülü	18

2.6.2.2. Gerçek Zamanlı Uzaktan Hasta İzleme.....	18
2.6.3. Çevresel Uygulamalar.....	19
2.6.3.1. Orman Yangınlarının Erken Tespiti	19
2.6.3.2. Tsunami Tespit Sistemi.....	20
2.6.3.3. Kirlilik İzleme Sistemi	20
2.6.4. Endüstriyel Uygulamalar	20
2.6.4.1. Lojistik Uygulamalar	21
2.6.4.2. Elektrikli Makinalarda Durum İzlenmesi ve Enerji Kullanımının Değerlendirilmesi	21
2.7. Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirleme Yöntemleri.....	21
2.7.1. Merkezi Konumlandırma Yöntemleri	22
2.7.2. Dağıtılmış Konumlandırma Yöntemleri	22
2.7.3. Çapaya Bağlı Konumlandırma Yöntemleri	23
2.7.3.1. Küresel Konum Belirleme Sistemi.....	23
2.7.4. Çapaya Bağlı Olmayan Konumlandırma Yöntemleri	24
2.7.5. Mesafeye Bağlı Konumlandırma	24
2.7.5.1. Alınan Sinyal Gücü Göstergesi	24
2.7.5.2. Varış Zamanı	25
2.7.5.3. Varış Açısı.....	25
2.7.5.4. Varış Zamanı Farkı.....	26
2.7.6. Mesafeye Bağlı Olmayan Konumlandırma.....	27
2.7.6.1. Dv Hop Yöntemi	27
2.7.6.2. Üçgende Yaklaşık Nokta Yöntemi.....	28
2.7.6.3. Centroid Yöntemi.....	28
2.8. Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma Problemi.....	29
2.9. K-Bağlılık Özelliği ve Önemi	31
2.10. KSA’da Kullanılan Ağ Tipleri.....	33
2.11. KSA’da Kapsama Alanı	34
3. HATALI KONUMLANDIRILAN SENSÖR DÜĞÜMLERİNİN NEDENLERİ.....	35
3.1. Hatalı Konumlandırılan Sensör Düğümlerinin Nedenleri	35
3.2. Flip Belirsizliği.....	35
3.3. Sensör Düğümünün Komşu Sayısı	36
3.4. KSA’larda Doğrusallık Özelliği	37
4. MATERYALLER VE YÖNTEMLER	39
4.1. Optimizasyon Algoritmaları.....	39
4.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	39
4.1.2. Karınca Koloni Algoritmasının Özellikleri.....	42

4.1.2.1. Gerçek Karıncaların Davranışları.....	42
4.1.2.2. Karınca Koloni Algoritması	44
4.1.3. Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu	46
4.1.4. Girdap Arama Algoritması	48
4.1.5. Yabani Ot Optimizasyonu.....	51
5. BULGULAR.....	53
5.1. Birinci Senaryoda Elde Edilen Bulgular ve Hatalı Konumlandırılan Sensör Düzgümleri.....	53
5.1.1. PSO Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular.....	53
5.1.2. ACO _R Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular.....	55
5.1.3. VSA Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular	57
5.2. İkinci Senaryoda K-Bağlılık ile Elde Edilen Bulgular ve Hatalı Konumlandırılan Sensör Düzgümleri.....	59
5.2.1. PSO ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları	60
5.2.1.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları.....	60
5.2.1.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları.....	62
5.2.1.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları.....	64
5.2.1.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları.....	66
5.2.1.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları.....	68
5.2.2. ACO _R ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları	70
5.2.2.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları.....	70
5.2.2.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları.....	72
5.2.2.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları.....	74
5.2.2.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları.....	76
5.2.2.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları.....	78
5.2.3. VSA ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları.....	80
5.2.3.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları.....	80
5.2.3.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları.....	82
5.2.3.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları.....	84
5.2.3.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları.....	86
5.2.3.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları.....	88
5.2.4. IWO ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları.....	90
5.2.4.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları.....	90
5.2.4.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları.....	93
5.2.4.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları.....	95
5.2.4.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları.....	97
5.2.4.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları.....	99
6. SONUÇLAR.....	102

6.1. Birinci Senaryonun Sonucu.....	102
6.2. İkinci Senaryonun Sonucu.....	103
6.3. Sensör Düğümlerinin Hatalı Konumlandırılmasının Nedenleri	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ.....	116



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. PSO için parametre değerleri	55
Çizelge 5.2. PSO’da elde edilen hata değerleri	55
Çizelge 5.3. ACO_R için parametre değerleri	57
Çizelge 5.4. ACO_R ’da elde edilen hata değerleri	57
Çizelge 5.5. VSA için parametre değerleri	59
Çizelge 5.6. VSA’da elde edilen hata değerleri	59
Çizelge 5.7. R=22’de PSO’nun hata değerleri	61
Çizelge 5.8. R=24’te PSO’nun hata değerleri	63
Çizelge 5.9. R=25’te PSO’nun hata değerleri	65
Çizelge 5.10. R=33’te PSO’nun hata değerleri	67
Çizelge 5.11. R=39’da PSO’nun hata değerleri	69
Çizelge 5.12. R=22’de ACO_R ’nun hata değerleri	71
Çizelge 5.13. R=24’te ACO_R ’nun hata değerleri	73
Çizelge 5.14. R=25’te ACO_R ’nun hata değerleri	75
Çizelge 5.15. R=33’te ACO_R ’nun hata değerleri	77
Çizelge 5.16. R=39’da ACO_R ’nun hata değerleri	79
Çizelge 5.17. R=22’de VSA’nın hata değerleri	82
Çizelge 5.18. R=24’te VSA’nın hata değerleri	84
Çizelge 5.19. R=25’te VSA’nın hata değerleri	86
Çizelge 5.20. R=33’te VSA’nın hata değerleri	88
Çizelge 5.21. R=39’da VSA’nın hata değerleri	90
Çizelge 5.22. IWO için parametre değerleri	91
Çizelge 5.23. R=22’de IWO’nun hata değerleri	92

Çizelge 5.24. R=24'te IWO'nun hata değerleri	94
Çizelge 5.25. R=25'te IWO'nun hata değerleri	96
Çizelge 5.26. R=33'te IWO'nun hata değerleri	98
Çizelge 5.27. R=39'da IWO'nun hata değerleri	100
Çizelge 6.1. 20 ve 100 simülasyona ait OH	102
Çizelge 6.2. K-bağılılık için OH değerleri	103
Çizelge 6.3. Birinci senaryo	105
Çizelge 6.4. İkinci senaryo.....	105



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

Şekil 2.1. Kablosuz sensör ağı yapısı [29]	10
Şekil 2.2. Sensör düğümün bileşenleri [34]	10
Şekil 2.3. Sensör düğümü [35]	10
Şekil 2.4. KSA protokol yığını	13
Şekil 2.5. KSA'nın uygulama alanların gruplandırılması	14
Şekil 2.6. Deniz altı savunma harbi (ASW) [43]	16
Şekil 2.7. Keskin nişancı tespit sistemi [47]	17
Şekil 2.8. Gerçek zamanlı EKG izleme modülü ve giyilebilir sensör gömlek [49] ...	18
Şekil 2.9. Uzaktan hasta izleme sistemi [50]	19
Şekil 2.10. Orman yangınları gözetleme sistemi tasarımı [52]	20
Şekil 2.11. Kamyon ve konteynere yerleştirilen KSA uygulaması [56]	21
Şekil 2.12. Konumlandırma yöntemleri	22
Şekil 2.13. Mesafeye bağlı konumlandırma yöntemleri	24
Şekil 2.14. Varış zamanı	25
Şekil 2.15. Varış açısı [68]	26
Şekil 2.16. Varış zamanı farkı	26
Şekil 2.17. Mesafeye bağlı olmayan konumlandırma türleri	27
Şekil 2.18. APIT yöntemi ile konum belirleme	28
Şekil 2.19. Mesafeye bağlı konumlandırma	29
Şekil 2.20. 2-Bağlılık	32
Şekil 2.21. 3-Bağlılık	32
Şekil 2.22. 4-Bağlılık	33

Şekil 2.23. 5-bağılılık	33
Şekil 2.24. Algılama alanı ve iletim aralığı.....	34
Şekil 3.1. Flip belirsizliği [99]	36
Şekil 3.2. Sensör düğümün komşu sayısı [100]	37
Şekil 3.3. Doğrusal sensör düğümleri [101].....	38
Şekil 4.1. PSO'nun akış diyagramı	42
Şekil 4.2. Karıncaların izledikleri yol	43
Şekil 4.3. Karıncaların ilerlediği yola engel konulması	43
Şekil 4.4. Karıncaların en kısa yolu tercih etmesi.....	44
Şekil 4.5. ACO_R için çözüm tablosu	47
Şekil 4.6. ACO_R algoritması için akış diyagramı.....	48
Şekil 4.7. VSA için akış diyagramı.....	50
Şekil 4.8. IWO için akış diyagramı.....	52
Şekil 5.1. PSO algoritması için hata değeri.....	54
Şekil 5.2. PSO için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	54
Şekil 5.3. PSO için gerçek konum komşuluk bağlantısı	54
Şekil 5.4. ACO_R algoritması için hata değeri.....	56
Şekil 5.5. ACO_R için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	56
Şekil 5.6. ACO_R için gerçek konum komşuluk bağlantısı	56
Şekil 5.7. VSA algoritması için hata değeri.....	58
Şekil 5.8. VSA için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	58
Şekil 5.9. VSA için gerçek konum komşuluk bağlantısı	58
Şekil 5.10. PSO'nun $R=22$ 'deki hata değeri	60
Şekil 5.11. PSO'nun $R=22$ 'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	60
Şekil 5.12. PSO'nun $R=22$ 'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	61
Şekil 5.13. PSO'nun $R=24$ 'teki hata değeri	62

Şekil 5.14. PSO'nun R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	63
Şekil 5.15. PSO'nun R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	63
Şekil 5.16. PSO'nun R=25'teki hata değeri	64
Şekil 5.17. PSO'nun R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	65
Şekil 5.18. PSO'nun R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	65
Şekil 5.19. PSO'nun R=33'teki hata değeri	66
Şekil 5.20. PSO'nun R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	67
Şekil 5.21. PSO'nun R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	67
Şekil 5.22. PSO'nun R=39'daki hata değeri	68
Şekil 5.23. PSO'nun R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	69
Şekil 5.24. PSO'nun R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	69
Şekil 5.25. ACO _R 'nün R=22'deki hata değeri	70
Şekil 5.26. ACO _R 'nün R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	71
Şekil 5.27. ACO _R 'nün R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	71
Şekil 5.28. ACO _R 'nün R=24'teki hata değeri	72
Şekil 5.29. ACO _R 'nün R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	73
Şekil 5.30. ACO _R 'nün R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	73
Şekil 5.31. ACO _R 'nün R=25'teki hata değeri	74
Şekil 5.32. ACO _R 'nün R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	75
Şekil 5.33. ACO _R 'nün R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	75
Şekil 5.34. ACO _R 'nün R=33'teki hata değeri	76
Şekil 5.35. ACO _R 'nün R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata.....	77
Şekil 5.36. ACO _R 'nün R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	77
Şekil 5.37. ACO _R 'nün R=39'daki hata değeri	78
Şekil 5.38. ACO _R 'nün R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	79
Şekil 5.39. ACO _R 'nün R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı.....	79

Şekil 5.40. VSA'nın R=22'deki hata değeri	80
Şekil 5.41. VSA'nın R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	81
Şekil 5.42. VSA'nın R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı	81
Şekil 5.43. VSA'nın R=24'teki hata değeri	83
Şekil 5.44. VSA'nın R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	83
Şekil 5.45. VSA'nın R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	83
Şekil 5.46. VSA'nın R=25'teki hata değeri	85
Şekil 5.47. VSA'nın R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	85
Şekil 5.48. VSA'nın R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	85
Şekil 5.49. VSA'nın R=33'teki hata değeri	87
Şekil 5.50. VSA'nın R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	87
Şekil 5.51. VSA'nın R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	87
Şekil 5.52. VSA'nın R=39'daki hata değeri	89
Şekil 5.53. VSA'nın R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	89
Şekil 5.54. VSA'nın R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı	89
Şekil 5.55. IWO'nun R=22'deki hata değeri	91
Şekil 5.56. IWO'nun R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	91
Şekil 5.57. IWO'nun R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı	92
Şekil 5.58. IWO'nun R=24'teki hata değeri	93
Şekil 5.59. IWO'nun R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	93
Şekil 5.60. IWO'nun R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	94
Şekil 5.61. IWO'nun R=25'teki hata değeri	95
Şekil 5.62. IWO'nun R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	95
Şekil 5.63. IWO'nun R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	96
Şekil 5.64. IWO'nun R=33'teki hata değeri	97
Şekil 5.65. IWO'nun R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	97

Şekil 5.66. IWO'nun R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı	98
Şekil 5.67. IWO'nun R=39'daki hata değeri	99
Şekil 5.68. IWO'nun R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata	99
Şekil 5.69. IWO'nun R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı	100
Şekil 6.1. Algoritmaların 20 simülasyon için OH.....	102
Şekil 6.2. Algoritmaların 100 simülasyon için OH.....	103
Şekil 6.3. Algoritmaların k-bağılılık için OH değeri	104



KISALTMALAR DİZİNİ

ABC	Yapay Arı Koloni
ABD	Amerika Birleşik Devleti
ACO	Karınca Koloni Algoritması
ACO _R	Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyon
ADC	Analogdan Dijitale Dönüştürücü
AFM	Ortalama Fastmap
AoA	Variş Zamanı
APIT	Üçgende Yaklaşık Nokta
ARL	Ordu Araştırma Laboratuvarı
ASW	Denizaltı Savunma Harbi
BBO	Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
BPSO	İkili Parçacık Sürü Optimizasyon
BSO	Beyin Fırtına Optimizasyon
CSO	Tavuk Sürü Optimizasyon
DV-Hop	Distance Vector Hop
EARS	Erken Saldırı Reaksiyon Algılayıcı
ECC	Eliptik Eğri Şifreleme
EHO	Fil Sürü Optimizasyon
FA	Ateş Böceği Algoritması
FFSS	Orman Yangınları Gözetleme Sistemi
FP	Çiçek Tozlaşma
FPGA	Alan Programlanabilir Geçit Dizileri
FWI	Yangın Hava İndeks

GA	Genetik Algoritma
GAL	Genetik Algoritma Tabanlı Yerelleştirme
GPS	Küresel Konum Belirleme Sistemi
GSA	Yerçekimi Arama Algoritması
GSO	Grup Arama Optimize Edici
GWO	Gri Kurt Optiizasyon
HAVELSAN	Hava Elektronik Sanayi
HPSO	H-Best Parçacık Sürü Optimizasyon
IWO	Yabani Ot Optimizasyon
KSA	Kablosuz Sensör Ağ
MANET	Mobil Ad-Hoc
MBA	Modifiye Yarasa Algoritması
MBO	Hükümdar Kelebek Optimizasyon
MPSO	Çok Aşamalı Parçacık Sürü Optimizasyon
MSABC	Çok Aşamalı Yapay Arı Koloni
OH	Ortalama Hata
PDF	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PeSOA	Penguen Arama Optimizasyon Algoritması
PGSA	Bitki Büyüme Simülasyon Algoritması
PPSO	Önerilen Parçacık Sürü Optimizasyon
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyon
RF	Radyo Frekansı
RSSI	Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
SA	Tek-Aşamalı Benzetilmiş Tavlama
SAA	Benzetilmiş Tavlama Algoritma

SAL	İki-Fazlı Benzetilmiş Tavlamaya Tabanlı Konumlandırma
SDP	Yarı-Kesin Programlama
SDPL	Gradyan Arama Konumlandırma
SSA	Salp Sürü Algoritması
TDoA	Varış Zamanı Farkı
ToA	Varış Zamanı
VSA	Girdap Arama Algoritması
WFM	Ağırlıklı Fastmap



1. GİRİŞ

Kablosuz sensör ağı (KSA) 1980'lerde ilk kez ortaya çıkmış ve KSA'lar 1990 yılından itibaren teknolojinin gelişmesi ile birlikte önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [1]. KSA'lar son on yılda teknolojinin gelişimiyle birlikte sahip olduğu avantajları, farklı alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece hayati açıdan önemli alanlarda kullanılarak tüm canlıların hayatını kolaylaştırmaktadır.

KSA'ların kullanım alanlarının artması ile birlikte sensör düğümlerinin konum bilgisinin elde edilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. KSA'nın en önemli bileşenlerinden biri olan sensör düğümleri, Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) veya manuel yöntem ile konum bilgisi elde edilmektedir. GPS yönteminin maliyetli ve enerji tüketiminin fazla olması ayrıca görüş hattını engelleyebilecek unsurlardan dolayı kullanılması tercih edilmemektedir. Manuel olarak konum belirlemede ise sensör düğümleri geniş bir coğrafik alana rastgele dağıtılmışsa ya da sensör düğümü hareketli yapıya sahip ise konum tespiti yapılması imkânsızdır. Böylece konum belirlemede farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerden biri de konumu bilinen ile konumu bilinmeyen düğümleri arasında mesafe hesaplanarak konum belirlenebilmekte ve bu yöntem ağ konum belirleme (network localization) olarak isimlendirilmektedir [2].

Yapay zekâ yöntemleri kullanılarak sensör düğümlerinin konum tespiti yapılabilmektedir. Optimizasyon yöntemlerinde optimizasyon problemi, konum belirleme problemi olarak yer almaktadır.

1.1. Literatür Taraması

Konum belirleme problemlerinin çözümü için çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Huaxiang, Yong ve Xialion çalışmasında bir mobil çapa düğümü ve Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA) kullanılmıştır. Konumu bilinmeyen düğümler ile

apa düğümüne olan mesafe Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication, RSSI) yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışmada başlangıçta sensör düğümlerinin konumlarını tahmin etmek için Ağırlıklı Centroid yöntemi kullanılmış ve daha sonra GA ile sensör düğümlerinin coğrafi koordinatları kesin olarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında bir mobil çapa düğümü kullanılarak konumları tespit edilmiştir. Böylece apa düğümün maliyeti ve hesaplama karmaşıklığı azaltılabilmektedir. Ancak KSA'nın alanı arttıkça bir mobil çapa düğümü yeterli olmayabilir [3].

Waleed ve arkadaşları, konumları bilinmeyen sensör düğümlerinin konumlarını bulmak için Ağırlık Fastmap (Weighted Fastmap, WFM) algoritmasını önermişlerdir. WFM'nin hesaplama karmaşıklığının azaltılması için Ortalama Fastmap (Average Fastmap, AFM) algoritmasını modellemişlerdir [4].

Kumar ve arkadaşları, rastgele yerleştirilmiş sensör düğümlerinin konumlarını belirlemek için H-Best Parçacık Sürü Optimizasyon (H-Best Particle Swarm Optimization, HPSO) ve Biyocoğrafiya Tabanlı Optimizasyon (Biogeography Based Optimization, BBO) algoritmalarını uygulamışlardır. Simülasyon sonuçları Parçacık Sürü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sensör düğümlerinin konumlarını HPSO algoritması daha hızlı bir şekilde belirlerken, BBO algoritması ise daha az hata oranı ile tespit etmiştir. Aynı zamanda gürültü parametresinin arttıkça ortalama hata oranının arttığı ifade edilmiştir. İterasyonlar arttıkça konumlandırılmış düğüm sayısının arttığını ve daha az sayıda referans düğümü ile hedef sensör düğümlerinin konumlarının belirlenebileceğı vurgulanmıştır [5].

Krishnaprabha ve Gopakumar alışmasında KSA'da konum belirleme probleminin çözümü için sürü tabanlı yeni bir algoritma olan Yerçekimi Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm, GSA) nerilmiştir. Çalışmada GSA ile PSO algoritmaları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında GSA, sensör düğümlerinin konumlarını daha doğru bir şekilde tespit etmiştir [6].

Goyal ve Patterh alışmalarında, KSA'da konumlandırma problemi için iek Tozlaşma (Flower Pollination, FP) algoritmasını kullanmışlardır. Simülasyon sonuçları, PSO ve GA ile karşılaştırılmıştır. FP algoritmasında daha az hata oranı ile konum belirlenmiştir. Ayrıca konum hatası, referans düğümünün sayısı artması ile azalmış ve belirli bir referans sayısından sonra hata oranı değişmemiştir [7].

Goyal ve Patterh, Modifiye Yarasa Algoritması (Modified Bat Algorithm, MBA) sensör düğümlerinin konumlarını belirlemek için uygulamışlardır. MBA'nın orijinal Yarasa Algoritmasına (Bat Algorithm, BAT) göre daha hızlı yakınsaması, konumlandırılmış düğüm sayısının ve sağlamlığının artması ve ortalama konumlandırma hatasının az olması ile daha iyi performans göstermiştir [8].

Li ve Wen, KSA'da dağıtılmış sensör düğümlerinin konumlarını tespit etmek için geliştirilmiş PSO algoritmasını kullanmışlardır. Önerilen PSO algoritması, (Proposed Particle Swarm Optimization, PPSO) daha kısa sürede ve daha fazla sayıda sensör düğümü yerleştirilmiştir. PPSO algoritmasında referans düğümü arttıkça hesaplama süresi ve ortalama konum hatası azalmıştır [9].

Öztürk araştırma projesinde, lokalizasyon problemin çözümü için Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritmasına yapılan modifikasyonlarla yeni bir algoritma kullanmıştır. Önerilen ABC algoritması ile PSO algoritması karşılaştırmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre önerilen ABC algoritmasında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [10].

Shayokh ve Shin, Tavuk Sürü Optimizasyonunu (Chicken Swarm Optimization, CSO) KSA'da konumlandırma problemini çözmek için önermişlerdir. Penguen Arama Optimizasyon Algoritması (Penguin Search Optimization Algorithm, PeSOA), PSO ve İkili Parçacık Sürü Optimizasyon (Binary Particle Swarm Optimization, BPSO) olmak üzere üç farklı algoritma ile CSO algoritmasından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. CSO algoritması daha hızlı yakınsama oranına sahip olmakla birlikte %50 daha fazla doğrulukla sensör düğümlerinin konumları tespit edilmiştir [11].

Shieh ve arkadaşları, çalışmalarında GA, PSO, Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization, GWO), Ateş Böceği Algoritması (Firefly Algorithm-FA) ve Beyin Fırtına Optimizasyon (Brain Storming Optimization, BSO) algoritmaları ile KSA'da sensörlerinin konumunu iki aşamalı bir şekilde tahmin edilmeye çalışmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır [12].

Rajakumar ve arkadaşları, konumlandırma problemini çözmek için GWO algoritmasını önermişlerdir. Önerilen çalışmada çapa düğümlerinin yardımıyla konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin konumlarını GWO algoritması ile tespit edilmiştir. Ayrıca PSO ve MBA algoritmalarında konumlandırılmış düğümlerinin

yüzdesi, hesaplama süresi ve minimum hata oranı gibi değerler karşılaştırılmıştır. GWO algoritmasında karşılaştırılan algoritmalara göre daha iyi performans elde edilmiştir [13].

Arora ve Singh, Kelebek Optimizasyon Algoritmasını (Butterfly Optimization Algorithm, BOA) sensör düğümlerinin konumunu doğru tahmin etmek için kullanılmıştır. BOA yanı sıra FA ile PSO algoritmalarının simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Önerilen çalışmada çapa düğümlerinin sayısı arttıkça konumlandırılan sensör düğümlerinin yüzdesi artmıştır. Ayrıca gaussian gürültü parametresinin değeri 2 ve 5 alınarak simüle edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında gürültü değerinin artması ile ortalama hata ve algoritmalarının hesaplama süresi artmıştır. Son olarak iterasyon sayısının artması ile konum doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında BOA, PSO ve FA'ya göre sensör düğümlerinin konumunu daha doğru hesaplamış ve hesaplama süresi açısından daha iyi performans göstermiştir [14].

Strumberger ve arkadaşları, Hükümdar Kelebek Optimizasyon (Monarch Butterfly Optimization, MBO) algoritmasını kullanarak konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin coğrafi koordinatlarını belirlemiştir. MBO ile ABC, PSO, Çok Aşamalı PSO (Multi-Stage Particle Swarm Optimization, MPSO) ve Çok Aşamalı ABC (Multi-Stage Artificial Bee Colony, MABC) algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında MBO diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [15].

Tuba ve arkadaşları, FA KSA'da konum probleminin çözümü için kullanılmıştır. FA, sensör düğümlerinin konumunu iki aşamada hesaplamıştır. FA, PSO algoritmasına kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca FA, BAT'a göre biraz daha iyi performans gözlemlenmiştir [16].

Babayiğit ve arkadaşları, hedef sensör düğümlerinin konumlarını doğru tahmin etmek için PSO ile Salp Sürü Algoritması (Salp Swarm Algorithm, SSA) yöntemini kullanmışlardır. Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında SSA'da ortalama hata oranı daha az ve konumlandırılmış düğüm sayısı daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada referans düğümlerinin sayısının artırılması ile ortalama hata oranı azalmış ve yerleştirilmiş düğüm sayısı artmıştır. Hata değerinin artırılması ile SSA ve PSO'nun performansları karşılaştırılmıştır. SSA'da elde edilen sonuçlar PSO'ya göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir [17].

Strumberger ve arkadaşları, yeni bir sürü optimizasyon algoritması olan Fil Sürü Optimizasyon (Elephant Swarm Optimization, EHO) algoritmasını sensör düğümlerinin konumlandırılması için kullanılmıştır. Çalışmada PSO, MPSO, ABC ve MABC algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. EHO diğer algoritmalara göre daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca iletim aralığı arttıkça konum hatası azalmıştır [18].

Wang ve arkadaşları, sensörler arasındaki uzaklığı hesaplamak için jeodezik mesafe metodunu kullanmışlardır. Sensörlerin konumlarını tespit etmek için İzomap Algoritmasını ele almışlardır. İzomap Algoritması ile az sayıda referans düğüm kullanılarak hata oranı azaltılmıştır [19].

Marks ve Szyrkiewicz, makalede Tek-Aşamalı Benzetilmiş Tavlama (One-Phase Simulated Annealing, SA) ve GA optimizasyon algoritmaları yer almaktadır. Ağdaki sensör düğümlerinin konumunu belirlenmesinde SA, GA ve Yarı-Kesin Programlama (Semi-Definite Programming, SDP) algoritmaları kullanılmıştır. Bu üç algoritmada konum hatası oranı ve yakınsama hızı karşılaştırılmıştır. SA algoritması daha az hata oranı ve daha çabuk yakınsama hızı ile sensör düğümlerinin konumları tespit edilmiştir. Çalışmada anchor düğümlerinin farklı şekilde dağılımına göre SA ve SDP algoritmalarının konum hataları ve hesaplama zamanları karşılaştırılmıştır. Anchor düğümlerinin hem eşit şekilde hem de eşit olmayan şekilde dağıtıldığında SA'da SDP'ye göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca anchor düğümleri eşit şekilde dağıtıldığında daha doğru bir şekilde konum tahminleri yapılmıştır [20].

Zhang ve arkadaşları çalışmalarında, Genetik Algoritma tabanlı Konumlandırma (Genetic Algorithm based Localization, GAL) yöntemi kullanılmıştır. GA'ya iki adet önemli parametre eklenerek önerilen GAL, Gradyan Arama Yerelleştirme (Gradient Search Localization, SDPL), SDP ve Benzetim Tavlama dayalı Konumlandırma (Simulated Annealing based Localization, SAL) ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre GAL diğer algoritmalara göre konum tahminlerinde daha doğru sonuçlar elde edilmiştir [21].

Peng ve Li, KSA'da konumlandırma problemini çözmek için DV-Hop (Distance Vector-Hop) algoritması GA'ya bağlı olarak GADV-Hop geliştirilmiştir. Geliştirilen GADV-Hop algoritmasında hata oranı azalmış ve hesaplama süresi daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir [22].

Tang ve arkadaşları KSA'da konumlandırma sorununu çözmek için doğadaki bitkiyi temel alan Bitki Büyüme Simülasyon Algoritmasını (Planth Growth Simulation Algorithm, PGSA) önermişlerdir. Önerilen PGSA hem sağlamdır hem de küresel en iyi sonucu vermektedir. Benzetilmiş Tavlama Algoritması (Simulated Annealing Algorithm, SAA) ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Performans sonuçlarına göre PGSA sensör düğümlerini daha kısa sürede daha iyi konumlandırmıştır[23].

Sackey ve arkadaşları, GA'ya kümeleme yöntemi eklenerek KSA'nın konumlandırma doğruluğunu arttırıldığı ifade edilmiştir. Simülasyon sonuçları Centroid ve DV-Hop yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Performans sonuçlarına bakıldığında önerilen kümeleme yaklaşımlı GA yöntemi diğer iki algoritmaya göre konumlandırma doğruluğunun iyileştirildiği gösterilmiştir [24].

Krishnaprabha ve Aloor, KSA'daki sensör düğümlerinin konumlarını daha doğru bir şekilde tespit etmek için Grup Arama Optimize Edici (Group Search Optimizer, GSO) algoritmasını önermişlerdir. GSO, PSO'ya göre sensör düğümlerinin konumları daha az hata ile belirlenmiştir. Ayrıca GSO, gerçek alanda KSA'lara uygulanmış ve elde edilen verilerinin doğruluğunu simülasyon sonuçları ile ispatlanmıştır [25].

Kannan, Mao ve Vucetic ad hoc KSA için yeni bir algoritma kullanmışlardır. Sensör düğümlerinin konumunun tahmininde hataya neden olan flip belirsizliğini ortadan kaldırmak için SAL kullanılmıştır. Çalışma, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamasında SAL kullanılmış ve daha sonra flip belirsizliği meydana gelen sensör düğümleri ele alınmıştır. Flip belirsizliğini çözmek için komşuluk bilgileri kullanılmıştır. SDPL ile karşılaştırıldığında önerilen yeni algoritmanın daha az hata ile konumlandırıldığı ve hatanın yayılmadığı ifade edilmiştir [26].

1.2. Tezin Amacı ve Önemi

KSA'lar teknolojinin gelişmesine paralel olarak kullanım alanları artmaktadır. Kullanım alanlarının artmasına bağlı olarak sensör düğümlerinin konumunun belirlenmesi ile ilgili çalışmalarının artmasına neden olmaktadır.

Sensör düğümleri tarafından toplanan bilginin değerlendirilebilmesi için konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer bu bilginin nereden geldiği bilinmezse elde edilen bilginin değerlendirilmesi imkânsız olacaktır. Bu nedenle konumu bilinen

bilgi KSA'da daha anlamlı hale gelmektedir. Bundan dolayı konum belirleme probleminin çözümü için birçok akademik çalışmalar yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, mesafeye bağlı konum bulma yöntemi kullanılarak hedef sensör düğümlerinin konumları belirlenmektedir. Bu yöntemde en az 3 adet referans düğümünün iletim aralığı içerisinde yer alan hedef sensör düğümleri arasındaki mesafe ölçülmektedir. Literatürde sensör düğümlerinin gerçek konumlarını daha az hata oranı ile tespit edilebilmesi için optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Bu tez kapsamında iki farklı düğüm dağılımı kullanılarak iki senaryo gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda PSO, ACO_R ve VSA algoritmaları ile gerçek konumları tahmin edilmiş ve kullanılan algoritmalarının Ortalama Hatası (OH) karşılaştırılmıştır. Ayrıca hatalı konumlandırılan sensör düğümleri tespit edilmiştir. İkinci senaryoda ise iletim aralığı kullanılarak elde edilen k-bağılılık özelliği ile OH değeri hesaplanmış ve hatalı konumlandırılan sensör düğümleri belirtilmiştir. İkinci senaryoda birinci senaryoya ek olarak IWO algoritması kullanılmıştır. Tezin amacı, her iki senaryoda sensör düğümlerinin hatalı konumlandırmaya neden olan etkenleri araştırarak literatüre katkı sağlamaktır.

Tez altı bölümden meydana gelmektedir. İkinci bölümde KSA'nın özelliklerini, konum belirleme yöntemlerini, ağ tipini, k-bağılılık özelliğini ve kapsama alanını detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, hatalı konumlandırılan sensör düğümlerinin nedenleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, kullanılan optimizasyon algoritmaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Beşinci bölümde ise algoritmalarından elde edilen bulgular şekiller ve çizgeler halinde gösterilmiştir. Ayrıca hatalı konumlandırılan sensör düğümlerinin numaraları ve nedenleri belirtilmiştir. Son olarak altıncı bölümde her iki senaryo için elde edilen sonuçlar görseller ile açıklanmıştır.

2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

2.1. Kablosuz Sensör Ağı Tarihçesi

KSA'lar son on yıldır popüler bir araştırma konusu olmasına rağmen sensörlerin kullanımı Soğuk Savaş'a dayanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Soğuk Savaş'ta, Ses Gözetleme Sistemini (Sound Surveillance System, SOSUS) kullanmıştır. SOSUS'ta akustik sensörler yer almaktadır. Bu sistem kullanılarak Sovyet denizaltıları algılanmıştır [27, 28].

Ulusal Oşinografi ve Atmosfer İdaresi (National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA) tarafından okyanuslarda meydana gelen olayları, sensörlerden bazılarını kullanarak algılamaktadır. Aynı zamanda hava savunma radar ağları da geliştirilmiştir. Hava savunma radar ağlarında aerostat sensörler kullanılmıştır [27, 28].

Günümüzde kullanılan KSA'ların kaynağını 1980'de Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) oluşturmaktadır. Daha sonra KSA'nın ilerlemesi Dağıtılmış Sensör Ağları (DSN) programına dayanmaktadır. 1980'ler ve 1990'larda askeri alanlarda KSA'lar kullanılmaya başlanılmıştır. Günümüzde ise Mikroelektromekanik Sistemlerinin (MEMS) gelişmesi ile sensör düğümlerinin boyutları küçültülmüş ve maliyetleri azaltılmıştır [27, 28].

2.2. Kablosuz Sensör Ağları ve Özellikleri

KSA'lar kablosuz ortamda birden fazla ucuz sensör düğümden meydana gelmektedir. Sensör düğümleri MEMS ve Radyo Frekansın (RF) gelişmesi ile birlikte daha küçük boyuta sahip olmakta, daha az güç tüketmekte ve zamanla maliyeti azalmaktadır [29].

Sensör düğümlerinin kurulmasında herhangi bir altyapıya ya da insan yardımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca KSA'larda iletişim çift taraflı olmasından dolayı

diğer kablosuz ağlardan ayrılmaktadır. Böylece KSA'da sensörler veriyi algılayabilmekte, işleyebilmekte ve baz istasyonuna gönderebilmektedir. Diğer kablosuz ağlarda ise iletişim tek taraflı olduğu için sadece veriyi algılayabilmekte ve baz istasyonuna doğrudan gönderebilmektedir [30].

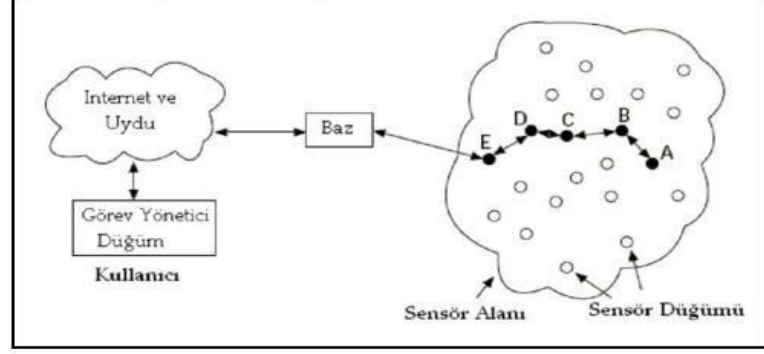
KSA'nın olumlu ve olumsuz özellikleri aşağıda sıralanmıştır [31].

- Hareketlilik: Sensör düğümlerinin hareket etmesinde herhangi bir engel bulunmamaktadır.
- Taşınabilirlik: KSA'lar kablo veya herhangi bir enerji altyapısı ihtiyacı duymamaktadır. Böylece KSA'lar herhangi bir ortama kolaylıkla taşınabilmektedir.
- Yeniden kullanılabilirlik: Sensör düğümleri farklı uygulamalarda defalarca yeniden kullanılabilir.
- Kolay kullanım: Sensör düğümleri değişen ortam koşullarında hiçbir bakıma ihtiyaç duymadan kolayca adapte olabilmektedir.
- Ölçeklenebilirlik: KSA'nın ölçeklenebilir özelliği ile yeni sensör düğümleri eklenebilmekte ya da çıkarılabilmektedir. Bu durum KSA'nın verimliliğini etkilememektedir.
- Maliyet: Teknolojik gelişmeler ile birlikte düşük maliyetli sensör düğümleri elde edilmektedir.
- Enerji ihtiyacı: Sensör düğümlerinin enerji ihtiyacı az olsa da enerji kaynağının değiştirilmesinden kaynaklanan masraflar meydana gelmektedir.
- Sağlamlık: Sensör düğümleri hassas yapıya sahiptir. Bundan dolayı enerji kaynağı olarak kullanılan pilin fazla ısındığında sensör düğümlerinde deformasyonlar meydana gelmektedir.

2.3. KSA'nın Yapısı

KSA'nın yapısı sensör düğümlerinden ve baz istasyonundan oluşmaktadır [32]. Dağıtılmış her bir sensör düğümü veriyi toplayabilme ve toplanan veriyi sabit veya mobil olabilen baz istasyonuna gönderebilme donanımına sahip olarak üretilmektedir. Sensör ağında bulunan tüm sensör düğümlerinin her biri kablosuz

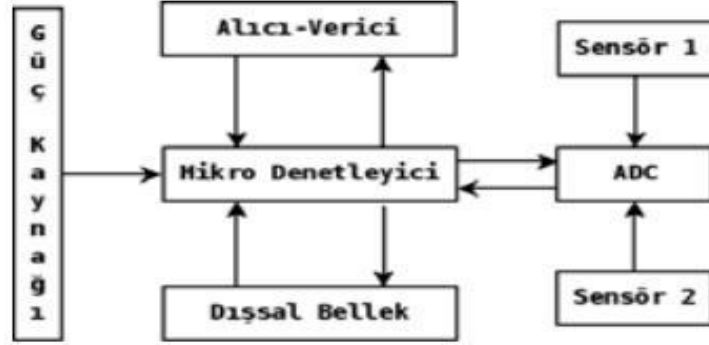
iletişim yeteneğine sahiptir. Baz istasyonu ise yönetim birimi ile internet ya da uyduyla haberleşebilmektedir. Sensör ağı, veriye her zaman ve her alanda rahatlıkla erişilmesine olanak sağlamaktadır [30]. Örnek bir KSA'nın yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kablosuz sensör ağı yapısı [29]

2.4. Sensör Düğümünün Bileşenleri

Sensör düğümünün başlangıcı 1980 yılında Smart Dust projesine dayanmaktadır [33]. Bir sensör düğümü, sensör birimi, işlemci birimi, alıcı-verici birimi, güç kaynağı birimi ve bellek biriminden meydana gelmektedir. Sensör düğümün bileşenleri Şekil 2.2'de ve sensör düğümü Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Sensör düğümünün bileşenleri [34]



Şekil 2.3. Sensör düğümü [35]

2.4.1. Sensör Birimi

Her bir sensör biriminin görevi, ortamdan sıcaklık, basınç, nem, hava ve ısı gibi fiziksel nicelikleri algılamak ve ölçmektir. Algılanan veriler sensörler aracılığıyla analog sinyal üretmektedir. Analog sinyaller, Analogdan Dijitale Dönüştürücü (ADC) tarafından dijital sinyallere dönüşmektedir. Dijital sinyaller, daha fazla analiz yapılabilmesi için işlemci birimine iletilmektedir [36].

Sensörler, ortamdan algıladıkları fiziksel niceliklerinin türüne göre termal, optik, elektromekanik, mekanik veya akustik gibi farklı çeşitleri bulunmaktadır [37].

2.4.2. İşlemci Birimi

İşlemci biriminin ana işlevi diğer sensör düğümleri ile birlikte işbirliğini yönetmektir. İşlemci biriminde, mikrodenetleyiciler, mikroişlemciler ve Alan Programlanabilir Geçit Dizileri (Field Programmable Gate Array, FPGA) bulunmaktadır [36]. Mikrodenetleyiciler sensör düğümlerinden gelen veriyi işlemekte ve sensör düğümünde bulunan diğer bileşenleri denetlemektedir [34, 36]. Mikrodenetleyiciler, yeniden programlanabilmekte ve daha az güç tüketmektedir. Ayrıca diğer cihazlara bağlanmada esnek bir yapıya sahiptir. Mikroişlemciler ise daha fazla güç tüketmektedir. Son olarak FPGA ihtiyaç doğrultusunda yeniden programlanabilmekte ya da yeniden yapılandırılabilen ama bu durumda daha fazla zaman ve güç harcamaktadır [34].

İşlemcilerin avantajları ve dezavantajları karşılaştırıldığında mikrodenetleyiciler daha çok tercih edilmektedir.

2.4.3. Alıcı-Verici Birimi

Kablosuz iletim ortamında, optik (lazer), RF ve kızılötesi olarak üç farklı seçenek bulunmaktadır. Lazerin enerji ihtiyacı daha az ama görüş alanına ihtiyaç duymaktadır. Aynı zamanda lazer, atmosferik koşullardan etkilenmektedir. Kızılötesi ve lazer antene gereksinim duymamakta ancak kızılötesinin yayın kapasitesi sınırlıdır. RF’te anten kullanılmakta ama diğer iletişim şekillerine göre daha kolaydır. Böylelikle KSA için en uygun iletişim çeşidi RF’tir. KSA’ların kullandıkları iletişim frekansları 433 MHz ve 2.4 GHz’dir. Alıcı ve vericiler tek bir aygıtta birleştirilmektedir. RF’nin İletme (Transmit), Alma (Receive), Boş (Idle) ve Uyku (Sleep) gibi dört farklı çalışma durumları bulunmaktadır. Günümüzde ise dört

modda çalışan radyolar bulunmaktadır [32].

2.4.4. Güç Kaynağı Birimi

Sensör düğümleri veriyi algılamada, işlemede ve haberleşmede enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Sensör düğümünün enerji harcaması veriyi algılamada ve işlemede daha az olmasına rağmen haberleşmede daha fazladır. Enerji, kapasitör ya da pil kullanılarak depolanabilmektedir. Şarj edilebilir ve şarj edilemez olmak üzere pilin iki farklı çeşidi bulunmaktadır [32,34].

Sensör düğümünde güç kaynağı için pil kullanılmaktadır. Piller, Nikel-Kadmiyum (NiCd), Nikel-Çinko (NiZn), Nikel-Metal Hibrit (Nimh) ve Lityum-İyon şeklinde sınıflara ayrılmaktadır. Pillerin sınıflandırılmasında içerisinde yer alan elektromekanik malzemeler etkilidir. Ayrıca sensör düğümleri daha az enerjiye ihtiyaç duymalarından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanılabilecek şekilde tasarlanmaktadır [32,34].

2.4.5. Bellek Birimi

Sensör düğümlerinin uygulama alanlarına göre farklı bellek türleri kullanılabilmektedir. Mikrodenetleyici çipi üzerindeki bellek ve flash bellekler enerji açısından kullanılabilecek bellek çeşitleridir. Maliyet ve depolama kapasitesi dikkate alındığında en uygun bellek türü flash bellektir. Bellek, depolamanın çeşidine bağlı olarak iki farklı grupta incelenmektedir. Bunlar: kişisel verileri saklamak veya uygulamalara bakarak kullanılan kullanıcı belleği ve cihazı programlamada kullanılan program belleğidir [34].

2.5. KSA'nın Protokol Yığını

KSA'da protokol yığını uygulama katmanı, iletim katmanı, ağ katmanı, veri bağlantı katmanı ve fiziksel katmanı olmak üzere beş katmandan meydana gelmektedir. Beş katmana ek olarak güç yönetim düzlemi, bağlantı yönetim düzlemi ve görev yönetim düzlemi bulunmaktadır. Sensör düğümlerinin bu düzlemler aracılığı ile koordineli çalışmasını sağlamak, ağın güç tüketimini azaltmak ve görev dağılımını takip etmek için kullanılmaktadır [29, 38, 39].

Şekil 2.4'te katmanlar ve düzlemler gösterilmektedir. Bu bölümde katmanlar ve düzlemler açıklanmıştır [29, 38, 39].

Uygulama Katmanı	Güç Yönetim Katmanı	Hareket Yönetim Düzlemi	Görev Yönetim Düzlemi
İletim Katmanı			
Ağ Katmanı			
Veri Bağlantı Katmanı			
Fiziksel Katmanı			

Şekil 2.4. KSA protokol yığını

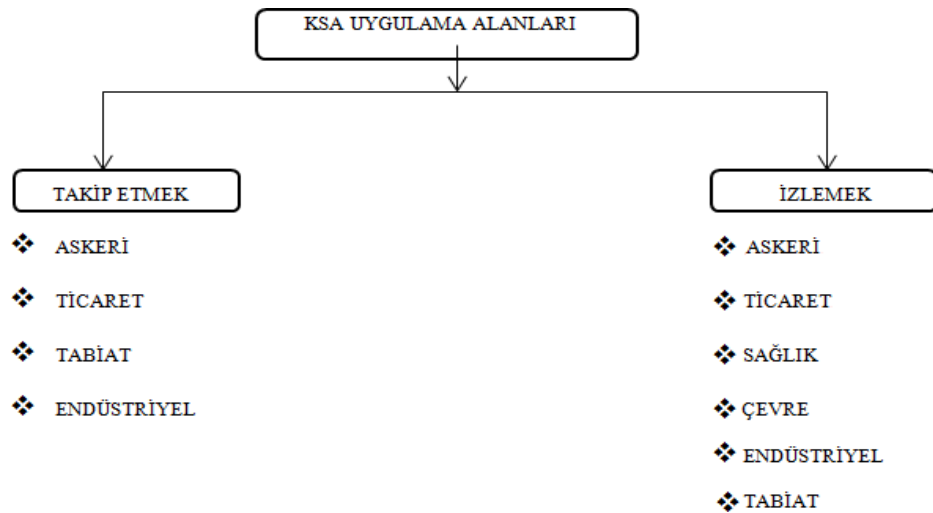
- Uygulama Katmanı: Uygulama katmanı askeri, tıbbi, çevre gibi farklı alanlarda sensör düğümlerini yerleştirmekte ve sensör düğümlerinden gelen verileri çevirmektedir [29, 38, 39].
- İletim Katmanı: İletim katmanının görevi, verileri sensör düğümleri arasında güvenilir bir şekilde iletmektir [29, 38, 39].
- Ağ Katmanı: Ağ katmanının işlevi, iletim kanalından gelen verileri yönlendirmesinden sorumludur [29, 38, 39].
- Veri Bağlantı Katmanı: Veri bağlantı katmanı, veri şifreleme, hata kontrolü ve veri çerçevesi algılanmasından sorumludur. Bu katmanın en önemli işlevi ise Ortama Erişim Kontrolü (MAC)'dür [29, 38, 39].
- Fiziksel Katmanı: Fiziksel katmanı, uygun frekans seçimi, taşıyıcı frekansın üretimi, sinyal iletleme ve algılama ayrıca sinyal modülasyonu gibi görevlerden sorumludur [29, 38, 39].
- Güç Yönetim Düzlemi: Güç yönetim düzlemi, bir sensör düğümünün veriyi algılama, işleme ve iletmek için kullanacağı gücü kontrol etmektedir. Komşu sensör düğümünden gelen veriyi aldıktan sonra aynı veriyi tekrar iletmemek için sensör düğümü kendini kapatabilmektedir. Eğer sensör düğümünün enerji seviyesi azalırsa komşu sensör düğüme mesaj ile yönlendirme görevini gerçekleştiremeyeceğini bildirmektedir. Bu durumda kullanmadığı gücü algılama işleminde kullanmaktadır. [29, 38, 39].

- **Hareket Yönetim Düzlemi:** Hareket yönetim düzlemi, ağdaki komşu sensör düğümlerinin varlığını ve geri dönüş yolunu tespit etmek için sensör düğümlerinin hareketlerini belirleyerek kaydetmektedir. Böylece komşu sensör düğümlerini tespit ederek görev ve gücü dengeli bir şekilde kullanabilmektedir [29, 38, 39].
- **Görev Yönetim Düzlemi:** Görev yönetim düzlemi, herhangi bir uygulamada kullanılan sensör düğümlerinin hepsinin algılama işlevini gerçekleştirmemesi için güç seviyelerine bakılarak algılama işlevini dengelemekte ve düzenlemektedir [29, 38, 39].

2.6. Uygulama Alanları

Başlangıçta KSA'lar askeri amaçlar için tasarlanmış ve son on yılda birçok farklı alanda uygulanmıştır. KSA'lar askeri, sağlık, çevre izleme, habitat izleme, tarım, endüstri, trafik ve yol, lojistik ve taşıma, eğitim, enerji, nesli tükenmekte olanların hayvanların takibi ve izlenmesi, hava durumu tespiti, deprem tespiti gibi geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. KSA'ların kullanım alanları ile ilgili detaylı bilgiler bu bölümde yer verilmektedir.

KSA'ların kullanım alanları takip etmek ve izlemek olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Şekil 2.5'te uygulama alanlarının gruplandırılması gösterilmektedir [40].



Şekil 2.5. KSA'nın uygulama alanların gruplandırılması

2.6.1. Askeri Uygulamalar

KSA'daki sensör düğümleri, herhangi bir alt yapıya ihtiyaç duymadan savaş alanına ya da düşman bölgesine kolaylıkla kurulabilmektedir. Böylece savaş alanını gözetlemek, düşman kuvvetlerini izlemek, nükleer, biyolojik ve kimyasal saldırıları tespit etmek gibi önemli uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca KSA'lar, izinsiz giriş tespiti, dost kuvvetlerini ve teçhizatı izlemek gibi askeri alanda önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Bazı sensör düğümleri, düşman kuvvetlerinin saldırısında zarar görebilmekte ancak bu durum KSA'daki tüm ağı etkilememektedir. Askeri uygulamalarda kullanılan KSA'lar ile ilgili çalışmalar ayrıntılı bir şekilde bu bölümde ele alınmaktadır.

2.6.1.1. İzinsiz Giriş Tespiti

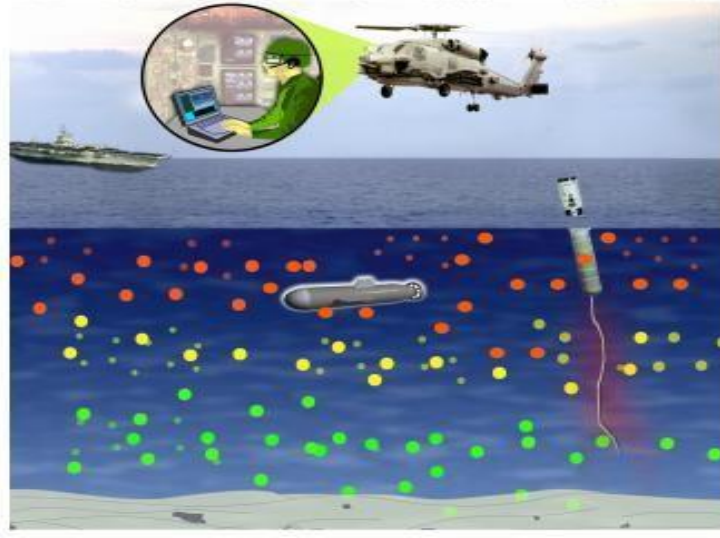
Gözetimsiz Akustik ve Sismik Sensörler kullanılarak (Unattended Acoustic and Seismic Sensor) dost askerlerinin yürüme, emekleme, kişisel teçhizatını çıkarma gibi hareketlerinden kaynaklanan titreşim ve sesleri kaydederek düşman askerlerinin yeri tespit edilmiştir. Askerlerin tipik eylemleri yankısız laboratuvarında ve askeri operasyon şartlarında ölçülmüştür. Böylece düşman askerlerinin yaklaşmasını ya da pusu hazırlığını erkenden tespit edilebilmektedir [41].

Düşman askerlerinin yerini tespit etmek ve takip etmek için geliştirilen diğer bir uygulamada da akustik ve sismik sensör düğümleri kullanılmıştır. Geliştirilen bu sistemde çok fazla sayıda kablosuz sensör düğümleri konuşlandırılmıştır. Sistemde bulunan akustik ve sismik sensörler algılamak ve izlemek, görsel sensörler de yanlış alarm oranını azaltmak için kullanılmıştır [42].

2.6.1.2. Savaş Alanını İzleme

Sensör ağları kullanılarak sınırlar ve kritik bölgeler izlenebilmektedir. Denizaltı Savunma Harbi (Anti-Submarine Warfare, ASW) denizaltını algılamak için tasarlanmıştır. Modern denizaltıları, gürültülü ve yankılı akustik bir ortamda geleneksel sonar teknolojisini kullanarak savaş alanının algılanması çok zordur. Bu durumu ortadan kaldırmak için SI2 Technologies Inc. (SI2), maliyeti az, boyutu küçük, kısa mesafeli ve çift modlu akustik sensörler geliştirilmiştir. Sistemdeki küçük sensörler hem aktif hem de pasif sonarlıdır. Sensörler önceden tayin edilmiş okyanus derinliğinde ve belirli bir sırada konuşlandırılmıştır [43].

ASW modeli Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Deniz altı savunma harbi (ASW) [43]

2.6.1.3. Geçici ve Helikopter Tespiti için Aerostat Akustik Yüğü

Bir savaş bölgesinde, havan toplarından ve küçük silahlardan gelen geçici sinyalleri tespit ederek düşman kuvvetlerinin konumu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bu amaçla Ordu Araştırma Laboratuvarı (ARL), bağlı aerostatların altında asılı duran akustik sensör dizilerini kullanarak araştırmalar gerçekleştirmiştir [44].

2.6.1.4. Askeri Operasyonlarda İletişim

Askeri operasyonlarda, askerlerin birbirleriyle sürekli ve güvenli bir şekilde iletişim halinde olmaları önemli bir noktadır. Bu nedenle askeri operasyonlarda haberleşmenin kesintiye uğramaması için KSA ve Mobil Ad-Hoc (MANET) kullanılmıştır. Ayrıca askerlerin paylaştıkları bilgiler düşman kuvvetleri tarafından çalınmaması için Eliptik Eğri Şifreleme (Eliptic Curve Cryptography, ECC) algoritması kullanılmıştır. Böylece askeri operasyonlarda iletişim daha güvenli bir hale gelmiştir [45].

2.6.1.5. Erken Saldırı Reaksiyon Algılayıcı

Erken Saldırı Reaksiyon Algılayıcı (Early Attack Reaction Sensor, EARS), pasif bir akustik sistemdir. Bu sistem silah seslerini algılayarak kullanıcıya hem sesli hem de görüntü ile uyarı sağlamaktadır. EARS bir mikrofon dizisinden ve Dijital Sinyal İşlemeden meydana gelmektedir. Sistemin amacı maliyeti az, taşınabilir ve insan tarafından giyilebilen mikro-akustik bir dizi geliştirmektir. Ayrıca EARS sistemi,

keskin nişancıyı tespit edip anında askeri bilgilendirmeyi hedeflemektedir. Testlerin sonucunda sistem, iyi bir performans göstermiştir [46].

2.6.1.6. Keskin Nişancı Tespiti

Hava Elektronik Sanayii (HAVELSAN), ateşli silahlardan meydana gelen namlu, patlama ve çok dalgalarını akustik sensör kullanarak keskin nişancı tespit sistemini tasarlamıştır. Akustik sensörler, mikrofon dizilerinden oluşmaktadır. Keskin nişancının konumu tespit edilirken GPS, ivmeölçer ve magnetometre verilerinden yararlanılmıştır. Sistem sabit istasyonlarda ya da personel veya araca monte edilerek kullanılmaktadır. Ayrıca dost kuvvetlerinden gelen ateşi algılayabilen alan tanımlanmaktadır [47]. şekil 2.7’de keskin nişancı tespit sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Keskin nişancı tespit sistemi [47]

2.6.2. Sağlık Uygulamaları

Sağlık uygulamalarında biyosensörler kullanılmaktadır. Akıllı biyosensörlerin boyutları küçüldükçe hastaların veya yaşlıların hastanelerde ya da evlerinde hayati değerlerinin gerçek zamanlı izlenmesine yardımcı olmaktadır. Böylece hastaların sağlık durumları düzenli olarak takip edilebilmektedir. Giyilebilir sensörler, hastanın kalp atış hızını ve kalp düzensizliklerini takip edebilmekte, kanserli hücreleri sağlıklı hücrelerden ayırt edebilmekte ve glikoz seviyesini izleyebilmektedir [48].

Sağlık uygulamalarında kullanılan KSA’lar ile ilgili çalışmalardan bazıları bu bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

2.6.2.1. Gerçek Zamanlı EKG İzleme Modülü

Gerçek zamanlı Elektrokardiyografi (EKG) izleme modülünde, giyilebilir sağlık gömleği şeklinde tasarlanmıştır. Giyilebilir sağlık gömlek modelinde, sensör düğümü gömülü ve boyutu rahatsız etmeyecek şekildedir. Ayrıca hasta tarafından rahatlıkla giyilebilmektedir. Sağlık gömleğinden gerçek zamanlı EKG sinyali elde edilmekte ve elde edilen sinyali bir Android™ tabanlı mobil cihazda görüntülenebilmektedir. EKG izleme modülünün donanımdaki sarı ışığın yanması kablosuz bağlantının kurulduğunu ve bilgi aktarımının gerçekleştiğini göstermektedir [49]. Şekil 2.8’de EKG izleme modülü ve hastaya giydirilen sağlık gömleği örneği gösterilmektedir.

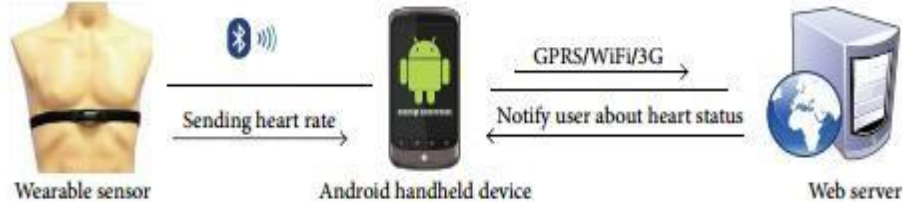


Şekil 2.8. Gerçek zamanlı EKG izleme modülü ve giyilebilir sensör gömlek [49]

2.6.2.2. Gerçek Zamanlı Uzaktan Hasta İzleme

Gerçek zamanlı uzaktan hasta izleme sistemi, altta yatan kalp rahatsızlıklarını önceden tespit edebilmektedir. Böylece insanlar kalp hastalıklarından korunmuş olmaktadır. Önerilen sistemde, kalp atış hızı, kan basıncı ve vücut sıcaklığı gibi parametreleri elde etmek için birden fazla giyilebilir sensörler kullanılabilir. Elde edilen tıbbi parametreler ile aritmi, hipertansiyon, hipotansiyon ve hipertemi gibi hastalıkların erkenden tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Geliştirilen bu sistemde, giyilebilir biyosensörler, akıllı bir telefon ve web portalından meydana gelmektedir [50].

Şekil 2.9’da uzaktan hasta izleme sisteminin mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Uzaktan hasta izleme sistemi [50]

2.6.3. Çevresel Uygulamalar

KSA’lar yanardağ hareketlerinin incelenmesi, tsunami, deprem ve su baskını gibi felaketlerinin önceden tespit edilmesini sağlayarak insan hayatını kurtarmada önemli bir rol oynamaktadır. Biyolojik, kimyasal ve nükleer atıkların çevreye ve doğaya verdiği zararlar incelenmektedir. Ayrıca KSA’lar çiftçilerin daha iyi mahsul elde etmesine ve mahsul kayıplarının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Böylece çiftçilerin mahsullerini zararlı böceklerden ve kötü hava koşullarından koruyarak ekonomik kayıpları engellenmektedir. Literatürde yer alan çevresel uygulamalara ait örneklerden bazıları detaylı bir şekilde bu bölümde açıklanmıştır.

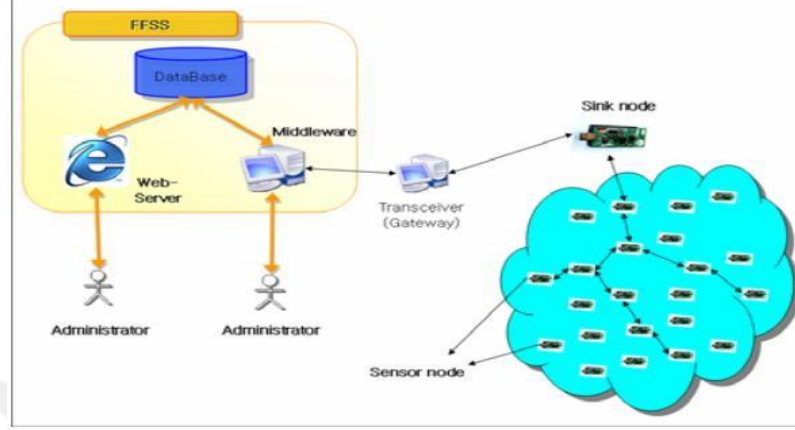
2.6.3.1. Orman Yangınlarının Erken Tespiti

Orman yangınlarının nedenleri arasında yıldırım, iklim değişikliği ve insanların dikkatsizliği sayılabilmektedir. Orman yangınları, ormanlarda yaşayan hayvanlara zarar vermekte ve ormanları yok etmektedir. Ayrıca şehir yakınlarında meydana gelen orman yangınları insanların yaşamlarını tehlikeye atmaktadır. Bu durumda orman yangınlarının neden olduğu zararları önlemek için orman yangınları erkenden tespit edilmeli ve söndürülmelidir [51].

Orman yangının erken tespit edilebilmesi için KSA’nın yer aldığı tasarım sunulmakta ve Yangın Hava İndeks (Fire Weather Index, FWI) Sistemi kullanılmaktadır. Tasarımda sorun k-kapsama problemi olarak ele alınmakta ve k-kapsama problemini çözmek için k-kapsama algoritması kullanılmaktadır [51].

Literatürde orman yangını tespit etmek için geliştirilen diğer bir sistem ise Orman Yangınları Gözetleme Sistemi (Forest-Fire Surveillance System, FFSS) olarak adlandırılmaktadır. Geliştirilen FFSS sistemi KSA, ara katmanlı yazılım ve web uygulamasından meydana gelmektedir. FFSS sistemi, meydana gelen orman

yangınında gerçek zamanlı bir alarm oluşturmaktadır. Bu sistem orman yangını meydana geldiğinde itfaiyeye veya orman yangının yakınında yaşayan kişileri uyarak ormada meydana gelebilecek hasara ve can kayıplarına önlemede yardımcı olmaktadır. Şekil 2.10’da FFSS sistemi gösterilmektedir [52].



Şekil 2.10. Orman yangınları gözetleme sistemi tasarımı [52]

2.6.3.2. Tsunami Tespit Sistemi

Tsunami kıyı bölgelerde can ve mal kayıplarına sebep olan doğal bir affettir. Bundan dolayı tsunaminin neden olduğu felaketleri önlemek için erken tespit edilmelidir. Tsunamileri tespit etmek için tasarlanan KSA tabanlı sisteme Tsunami Tespit Sistemi denilmektedir. Bu sistemde sensörler su altına yerleştirilmekte ve erken bir uyarı mesajı oluşturmaktadır. Böylece can ve mal kayıpları önlenmektedir. Sistemde SentiWordNet isimli sözlüksel bir kaynak kullanılarak sensörlerden bilgiler elde edilmektedir [53].

2.6.3.3. Kirlilik İzleme Sistemi

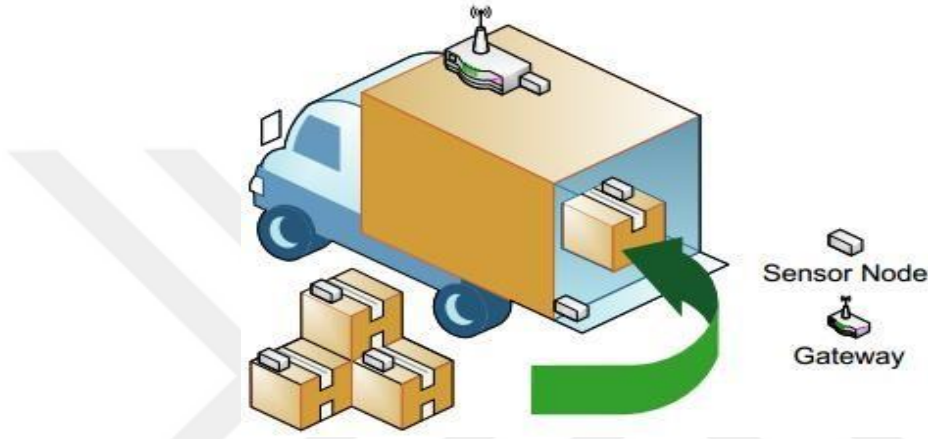
Enerji santrallerinin, araçlarının, fabrikalarının ve orman yangınlarının neden olduğu hava kirliliği insan sağlığına, çevreye ve hayvanlara zarar vermektedir. Önerilen hava kirliliği izleme sisteminde KSA kullanılmaktadır. Hava kirliliğine neden olan karbon monoksit (CO), karbon di-oksit (CO₂), metan (CH₄) ve uçucu organik bileşikler (VOC) hava kirliliği izleme sistemi ile miktarları izlenebilmektedir [54].

2.6.4. Endüstriyel Uygulamalar

KSA’lar ürünün kalitesinin arttırılmasında, makinanın verimliliğin izlenmesinde, üretim aşamalarını ve üretim ekipmanın durumunun takip edilmesinde kullanılmaktadır [55].

2.6.4.1. Lojistik Uygulamalar

Lojistik uygulamalardan kargo taşımacılığı önemli bir yer almaktadır. Çalışmada KSA Trans-Atlantik kargo gemisinde bulunan hem konteynere hem de kamyonu yerleştirilerek, sıcaklık ve nem gibi nakliye koşullarının incelenmesine yardımcı olmuştur. Şekil 2.11’de bu olayı ifade etmek için örnek bir uygulama gösterilmektedir. Önerilen bu sistem ile çevre şartlarından etkilenen gıdaların daha güvenli bir şekilde taşınması sağlanacaktır. Böylece gıdalar bozulmadan taşınacağı için maliyetler azalacaktır [56].



Şekil 2.11. Kamyon ve konteynere yerleştirilen KSA uygulaması [56]

2.6.4.2. Elektrikli Makinalarda Durum İzlenmesi ve Enerji Kullanımının Değerlendirilmesi

Önerilen sistemde KSA kullanılarak elektrikli makinaların durumu izlenmekte ve enerji kullanımları değerlendirilmektedir. Böylece motor arızaları önceden tespit edilmekte ve arızalar önlenmektedir. Bu durumda ekonomik kayıplar önlenmiş olmaktadır [57].

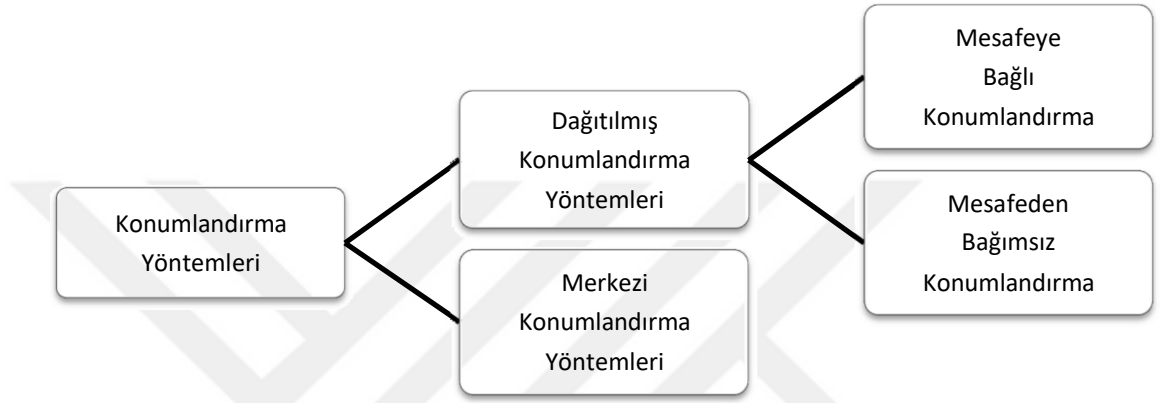
2.7. Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirleme Yöntemleri

KSA’larda sensör düğümlerinin konumunu tespit etmek önemlidir. Konumlandırmada GPS ya da manuel kullanılabilir. Ancak dezavantajlarından dolayı konumlandırma probleminin çözümü için farklı yöntemler kullanılmıştır.

Bunlar [58]:

- Merkezi Konumlandırma Yöntemleri
- Dağıtılmış Konumlandırma Yöntemleri
- Mesafeye Bağlı Konumlandırma Yöntemleri
- Mesafeden Bağımsız Konumlandırma Yöntemleri

Konumlandırma yöntemleri bu bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve Şekil 2.12’de ifade edilmiştir.



Şekil 2.12. Konumlandırma yöntemleri

2.7.1. Merkezi Konumlandırma Yöntemleri

Merkezi konumlandırma yönteminde, merkezi bir baz istasyonu bulunmakta ve her bir sensör düğümlerinin coğrafi koordinatları buraya gönderilmektedir. Ayrıca hesaplamalar merkezi baz istasyonunda yapılmaktadır. Hesaplamalardan elde edilen konum bilgileri sensörlere geri iletilmekte ve bu durum haberleşme maliyetini arttırmaktadır. Merkezi bir baz istasyonunda, karmaşık matematiksel hesaplamaları gerçekleştirebilmek için hesaplama kapasitesinin yüksek olması gerekmektedir [59, 60]. Merkezi konumlandırma yöntemi geniş bir coğrafyada kullanılan KSA için uygulanabilmektedir [61].

2.7.2. Dağıtılmış Konumlandırma Yöntemleri

Dağıtılmış konumlandırma yönteminde, ağda bulunan tüm sensör düğümlerinin hesaplama işlemini kendi yapmakta ve ağdaki diğer sensörlerle iletişim kurarak her bir sensör düğümünün konum bilgisi elde edilmektedir. Ayrıca bu yöntemin merkezi konumlandırma yöntemi gibi çalışması için büyük ölçekli alanlarda sensörlerin birbirleri ile iletişim kurması ve paralellik özelliği bulunması gerekmektedir [59, 60].

Son olarak her iki konumlandırma yöntemini enerji verimliliği açısından karşılaştırsak dağıtılmış konumlandırma yöntemi daha verimlidir [61].

2.7.3. Çapaya Bağlı Konumlandırma Yöntemleri

Çapaya bağlı konumlandırma yönteminde, coğrafi koordinatları bilinen çapa düğümleri bulunmaktadır. Çapa düğümleri, referans veya normal düğümler olarak adlandırılmakta ve konumları GPS teknolojisi ile bilinmektedir. Konum bilgisi bulunmayan düğümler konumlarını tahmin etme sürecinde çapa düğümlerini kullanmaktadır. Böylece çapa düğümleri kullanılarak maliyet ve enerji tüketimi azaltılmaktadır. Çapa düğümün sayısı, diğer sensör düğümlere göre daha az miktarda olmalıdır. İki boyutlu uzayda (2D) en az 3 çapa düğümü ve üç boyutlu uzayda (3D) ise minimum 4 çapa düğümü olmalıdır [62]. Çapaya bağlı konumlandırmada mesafeye bağlı veya mesafeden bağımsız konumlandırma yöntemleri kullanılmaktadır.

2.7.3.1. Küresel Konum Belirleme Sistemi

Küresel konum belirleme sistemi (GPS), ABD'nin Savunma Bakanlığına ait toplam 24 uydu ile çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu uydular dünyanın yörüngesine yerleştirilmiştir. GPS'nin ilk uydusu 1978 yılında fırlatılmıştır. Uydulardan yayılan radyo sinyalleri GPS alıcısına ulaşana kadar geçen süre ölçülerek konum, zaman, hız ve doğrultu bilgileri elde edilebilmektedir. Ayrıca yer istasyonları, uyduların hareketlerini kontrol etmek için kurulmuştur [63].

GPS sistemi başlangıçta askeri amaçlar için tasarlanmış ve daha sonra 1980'lerden itibaren sivil kullanıma başlanılmıştır [64]. İnsanları ve hayvanları izlemek ayrıca takip etmek, navigasyon, yer kabuğunun hareketlerini izlemek gibi sivil kullanımlara örnek verilmektedir [65]. Askeri alanlarda ise, seyir füzelerinde, kaybolan askerler ve düşen pilotların yerini tespit etmede kullanılmaktadır [66].

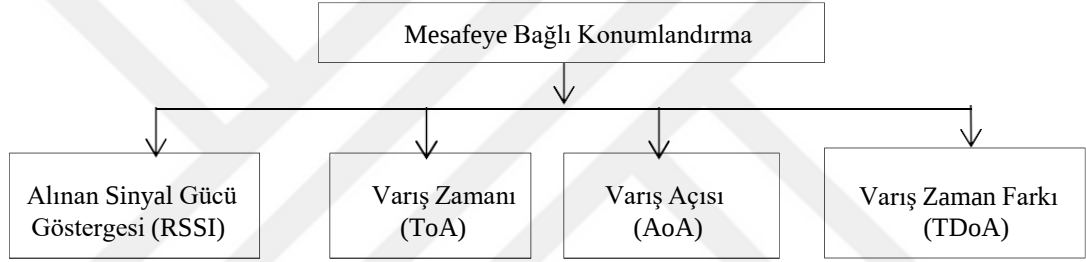
Yapılan çalışmalarda GPS'nin doğru konumu saptayabilmesi için gerekli koşulların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bunlar; en az 4 uyduya bağlanarak sinyal alınmalı ve sinyali alan antenin görüş hattında engeller olmamalıdır [63]. Avantajı, dışarıdan gelebilecek herhangi bir saldırılara karşı kendini kapatabilmekte ve sistem sinyal kesintisinde bile her zaman çalışabilmektedir. Dezavantajı, sistemin maliyeti yüksek ve çevre şartlarından olumsuz yönde etkilenmektedir.

2.7.4. Çapaya Bağlı Olmayan Konumlandırma Yöntemleri

Sensör düğümlerinin gerçek konumunu tahmin ederken çapa düğümü kullanılmamaktadır. Bu yöntem mesafeye bağlı ve mesafeye bağlı olmayan konumlandırma olarak iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır.

2.7.5. Mesafeye Bağlı Konumlandırma

Bu yöntemde, çapa düğümlerin dışındaki düğümlerin konumunu bulmak için tüm düğümler arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Mesafeye bağlı konumlandırma ek donanım ihtiyacı duymakta ve bundan dolayı güç tüketim ve maliyet artmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlarda hata oranı daha azdır. Mesafeye bağlı konumlandırmada yaygın kullanılan yöntemler Şekil 2.13'te gösterilmiş ve yöntemler hakkında bilgiler bu bölümde açıklanmıştır [58, 62].



Şekil 2.13. Mesafeye bağlı konumlandırma yöntemleri

2.7.5.1. Alınan Sinyal Gücü Göstergesi

Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication, RSSI) yönteminde, alıcı düğüme gelen sinyalin gücü ölçülmektedir. RSSI'da verici düğümden alıcı düğüme ulaşan sinyalde meydana gelen güç kaybı mesafe bilgisine dönüştürülmektedir. Sinyal güç kaybı, alıcı ve verici düğüm arasındaki mesafe ile doğru orantılıdır. Avantajı, RSSI yöntemin uygulanması basittir ve maliyeti azdır. Dezavantajı ise, gürültü ve parazitlerden dolayı mesafe hesaplanmasında yüksek hatalara sebep olmaktadır. RSSI Denklem (2.1) kullanılarak hesaplanmaktadır [58, 62, 67].

$$RSSI = -10 * k * \log_{10} d + A \quad (2.1)$$

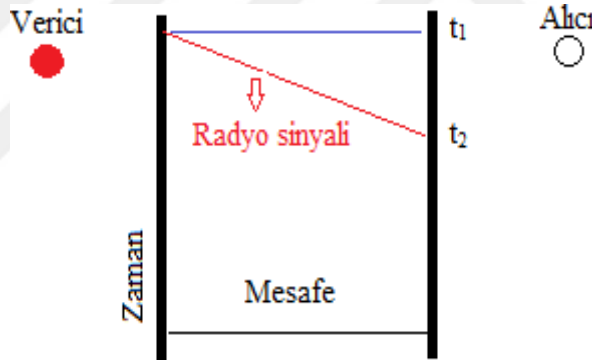
Burada d göndericiye ait olan mesafeyi, A sinyal gücünü ve n sinyalin yayılma üssünü temsil etmektedir.

2.7.5.2. Varış Zamanı

Sinyalin verici düğümünden alıcı düğüme ulaşması sırasında geçen zaman ölçülerek verici ile alıcı düğüm arasındaki mesafe bulunmaktadır. Varış Zamanında (Time of Arrival, ToA) sinyalin gecikme süresi ve hızı mesafe hesaplanmasında kullanılmaktadır. Avantajı, kanal zayıflamasından etkilenmemekte, görüş hattına ihtiyaç duymamakta ve RSSI'ya göre daha az hata ile mesafe tahmin edilmektedir [68]. ToA yöntemi Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Denklem 2.2 kullanılarak ToA hesaplanmaktadır [58].

$$D = c * \Delta t \quad (2.2)$$

Denklemde D alıcı düğümü ile verici düğüm arasındaki mesafeyi, c ışık hızını başka bir ifade ile alıcı ve verici düğümü arasındaki sinyalin yayılma hızını ve Δt alıcı ve verici düğüm arasındaki zaman farkını ifade etmektedir. Yöntemde en önemli nokta alıcı düğüm ile verici düğüm arasında zaman senkronizasyonu sağlanmasıdır.

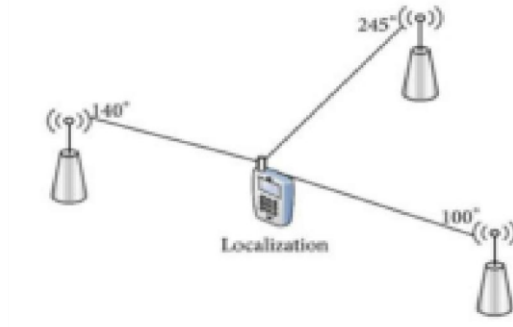


Şekil 2.14. Varış zamanı

2.7.5.3. Varış Açısı

Varış Açısı (Angle of Arrival, AoA) yöntemi belirlenen referans noktası ile sinyalin yaptığı açıya dayanmaktadır. Referans noktası ile sinyalin yaptığı açının ölçülmesinde kullanılan cihazlar maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca AoA'nın ölçülmesinde alıcı düğümde yer alan RF antenleri veya mikrofön dizileri gibi farklı ölçüm metotları kullanılabilmekte ve bu sebepten dolayı ek donanıma ihtiyaç duyulmaktadır [58, 68].

Şekil 2.15'te AoA ait bir örnek gösterilmiştir.



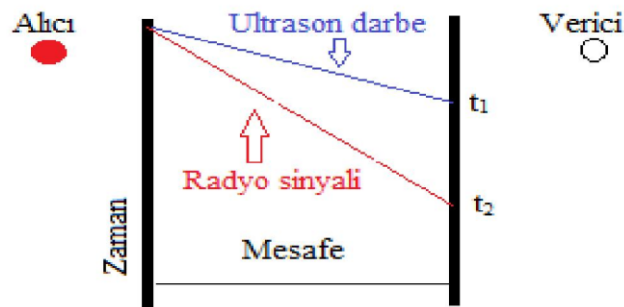
Şekil 2.15. Varış açısı [68]

2.7.5.4. Varış Zamanı Farkı

Varış Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival, TDoA) yönteminde, sinyallerin zaman farkı kullanılarak mesafe hesaplanmaktadır. TDoA'da zaman farkı hesaplanmasında iki farklı durum bulunmaktadır. Birinci durumda, senkronize olmuş üç veya daha alıcı düğüme, herhangi bir düğümden gelen sinyalin zaman farkı hesaplanmaktadır. İkinci durumda ise, tek bir verici düğümden gelen iki farklı sinyalin alıcı düğüme ulaşmasındaki zaman farkı hesaplanmaktadır. İkinci durum KSA'da yaygın olarak kullanılmakta ancak iki farklı sinyali gönderebilmek için ek bir donanıma gereksinim duyulmaktadır. TDoA'da yayılma hızları farklı olan radyo ve ultrason veya radyo ve akustik sinyaller kullanılmaktadır. Aşağıda ifade edilen 2.3 Denklem kullanılarak TDoA hesaplanmaktadır [69].

$$D = (S_r - S_s) * (t_2 - t_1) \quad (2.3)$$

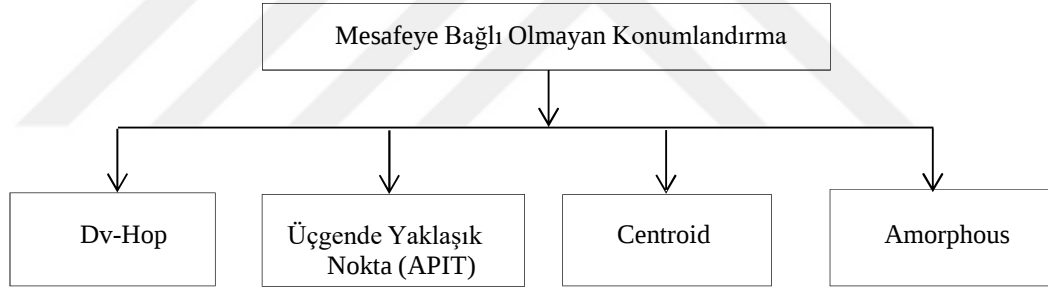
Burada S_r radyo sinyalinin yayılma hızını, S_s ultrason sinyalinin yayılma hızını, t_2 ultrason sinyalinin ulaşma zamanını ve t_1 ise radyo sinyalinin ulaşma zamanını temsil etmektedir. Şekil 2.16'da varış zamanı farkı yönteminin bulunması ile ilgili bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Varış zamanı farkı

2.7.6. Mesafeye Bağlı Olmayan Konumlandırma

Mesafeye bağlı olmayan konumlandırma yönteminde, sensör düğümlerinin konumunu tahmin etmek için bağlantılık (connectivity) bilgileri kullanılmaktadır. Sensör düğümleri arasındaki bağlantılık bilgisi, hop sayısı olarak ele alınmaktadır. Ağdaki herhangi bir sensör düğümü başka bir sensör düğümünün iletim aralığında yer alıyorsa bu iki düğüm arasındaki mesafe bir hop sayısı olarak isimlendirilmektedir. Bu yöntemde konumlandırma için mesafeye bağlı konumlandırma yöntemi gibi mesafeye veya açı kullanılmadığı için ek bir donanıma ihtiyaç duyulmamaktadır. Ek bir donanım kullanılmadığı için uygun maliyetlidir [70]. Ayrıca bağlantı bilgisi çevre koşullarından etkilenmediği için sağlam bir yapıya sahiptir [71]. Ancak daha fazla hata oranı ile konum tespit edilmektedir. Mesafeye bağlı olmayan konumlandırma yönteminde yaygın olarak Dv Hop, Üçgende Yaklaşık Nokta (Approximate Point in Triangle, APIT), Centroid ve Amorphous kullanılmaktadır. Şekil 2.17’de mesafeye bağlı olmayan konumlandırma yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Mesafeye bağlı olmayan konumlandırma türleri

2.7.6.1. Dv Hop Yöntemi

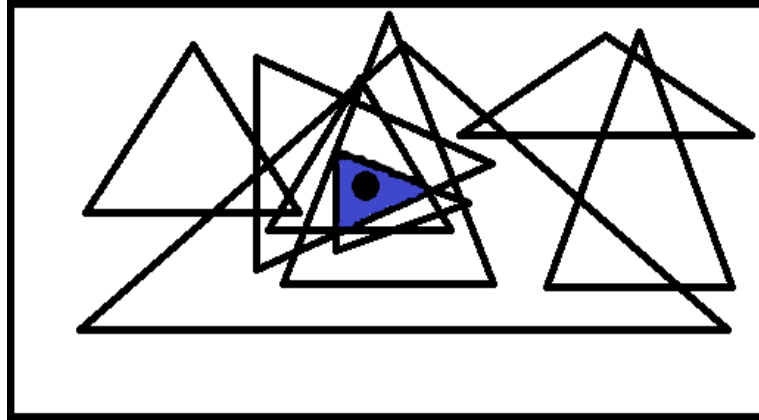
Dv Hop, hop sayısına bağlı bir tekniktir. Dv Hop yönteminde konumu tespit edilen çapa düğümleri yardımıyla konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin konumu tahmin edilmektedir. Bu yaklaşımda başlangıçta hop sayısı 0 olarak alınmakta ve ağdaki komşu düğümler kullanılarak çapa düğümlerinin konum verilerini diğer çapa düğümüne iletilmektedir. İletilen konum verileri her geçtiği sensör düğümde hop sayısı 1 arttırılmaktadır. Konum verileri çapa düğümüne ulaşana kadar geçtiği farklı yolların uzaklıkları toplamı ile en düşük hop sayısına bölünerek ortalama hop mesafesi bulunmaktadır. Denklem 2.4’te ortalama hop mesafesinin matematiksel ifadesi gösterilmektedir [72, 73].

$$\text{Ortalama Hop Mesafesi} = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum h_j} \quad (2.4)$$

Burada (x_i, y_i) i çapanın ve (x_j, y_j) j çapanın konum verilerini ve h_j , i çapa ile j çapa arasındaki hop sayısını temsil etmektedir. Konumu bilinmeyen sensör düğümünün ağda bulunan her bir çapaya olan hop sayısı hesaplanmaktadır. En düşük hop sayısının ortalama hop mesafesi kullanılarak mesafeler hesaplanmaktadır. Elde edilen mesafeler trilateration metodu ile sensör düğümün konumu belirlenmektedir [74].

2.7.6.2. Üçgende Yaklaşık Nokta Yöntemi

Üçgende yaklaşık nokta yönteminde (APIT) sensör düğümün konumunu belirlemek için çapa düğümlerinden yararlanılmaktadır. APIT'ta seçilen her bir 3 çapa düğümünden üçgen bölgeler oluşturulmaktadır. Daha sonra üçgenlerin kesişim bölgesinde sensör düğümünün yer alıp almadığı kontrol edilmektedir. Kesişim bölgesinde yer alan sensör düğümünün konumu tahmin edilebilmektedir[72, 75, 76]. Şekil 2.18'de APIT yöntemini ifade eden örnek bir şekil gösterilmiştir.



Şekil 2.18. APIT yöntemi ile konum belirleme

2.7.6.3. Centroid Yöntemi

Çapa düğümlerin konumlarını içeren bir formülle sensör düğümün coğrafi koordinatları bulunmaktadır. Centroid, diğer yöntemlerle kıyaslandığında en basit yöntemdir. Ancak hata oranı fazladır [77, 78]. Konumlandırmada hata oranı çapa düğümün sayısına ve dağılımına bağlıdır [79]. Denklem 2.5'te centroid yöntemin matematiksel ifadesi verilmektedir [80].

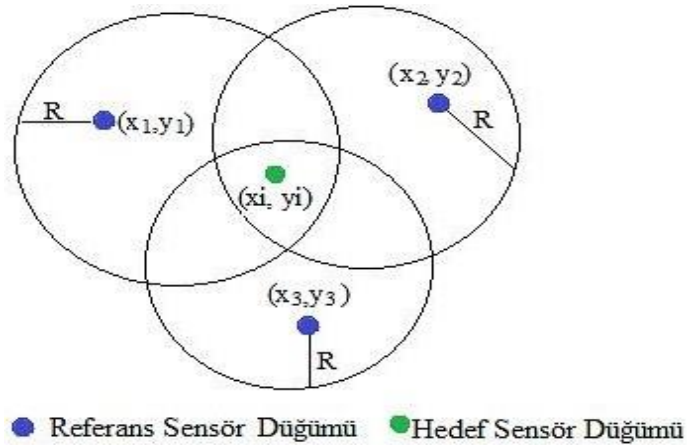
$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_1 + \dots + X_N}{N}, \frac{Y_1 + \dots + Y_N}{N} \right) \quad (2.5)$$

Denklemden $N \geq 3$ çapa düğümünü, X_{est} ve Y_{est} konumu tahmin edilecek sensör düğümünün koordinatlarını ve X_N ve Y_N çapa düğümünün konumlarını ifade etmektedir.

2.8. Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma Problemi

KSA'nın kullanıldığı alanlarda sensör düğümü tarafından algılanan bilgilerin yerini belirlemek için konumunun bilinmesi gerekmektedir. Aksi takdirde toplanan bilgiler anlamsızlaşır ve olaylara yanıt verilemez. Sensör düğümünün konumunun belirlenmesi konumlandırma problemi olarak isimlendirilmektedir [5].

KSA'da çok sayıda küçük ve daha az maliyetli sensör düğümleri bulunmaktadır. Sensör düğümlerinde konumları GPS ya da farklı tekniklerle belirlenmiş birkaç çapa (anchor, referans) düğümü ve konumları tespit edilmemiş çapa olmayan sensör düğümleri yer almaktadır. Sensör düğümlerinden çapa olmayanlar hedef düğüm olarak isimlendirilmekte ve çapa düğümlerinin sayısı hedef düğümlerinin sayısından daha azdır. Hedef düğümlerinin konumlarını tespit etmede GPS teknolojisinin kullanılması tercih edilmemektedir [81-86]. Bunun yerine konumlandırma probleminin çözümü için çapa düğümleri kullanılmaktadır. Hedef düğümlerinin komşu düğümlerine olan mesafe ölçülerek konumu belirlenebilmektedir. Hedef düğümlerin konumlarının belirlenmesi, mesafeye bağlı konumlandırma yöntemine dayanmaktadır [85]. Şekil 2.19'da mesafeye bağlı konumlandırma yönteminin bir örneği gösterilmiştir [87].



Şekil 2.19. Mesafeye bağlı konumlandırma

KSA’larda 2-boyutlu uzay için $M \geq 3$ tane çapa düğümü ve N tane hedef düğümü bulunmaktadır. Çapa düğümlerinin konumları (x_i, y_i) aşağıdaki Eşitlik 2.6’da ifade edilmektedir.

$$x_i = \{x_1, x_2 \dots x_M\}, \quad y_i = \{y_1, y_2 \dots y_M\} \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.7’de hedef düğümlerinin konumları (x_j, y_j) gösterilmektedir.

$$x_j = \{x_1, x_2 \dots x_N\}, \quad y_j = \{y_1, y_2 \dots y_N\} \quad (2.7)$$

Gerçek uzaklık, i . çapa düğümleri (x_i, y_i) ile hedef düğümleri (x, y) arasındaki mesafe hesaplanarak elde edilmektedir. Denklem 2.8 ile gerçek uzaklık bulunmaktadır.

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (2.8)$$

Konum belirlemede kullanılan mesafe ölçümleri gürültüden etkilenmekte ve konum doğruluğunu azaltmaktadır. Gerçek uzaklığa gürültü (n_i) eklenerek tahmini uzaklık (d_{ik}) bulunmakta ve Denklem 2.9’da gösterilmektedir.

$$d_{ik} = d_i + k_i \quad (2.9)$$

Konumlandırma probleminin üstesinden gelebilmek için optimizasyon algoritmalarından yararlanılmaktadır. Optimizasyon algoritmalarında amaç fonksiyonu $f(x,y)$, hedef düğümünün konum bilgisini en az hata ile bulmayı amaçlamakta ve Denklem 2.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$f(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (d_i - d_{ik})^2 \quad (2.10)$$

Hedef düğümünün gerçek konumu ile tahmini konumu arasında hata meydana gelmektedir. Bu hata fonksiyonu, optimizasyon algoritmaları kullanılarak minimize edilmeye hedeflenmektedir. Denklem 2.11 ile hata fonksiyonu hesaplanmaktadır.

$$E = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sqrt{(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11’de (x_i, y_i) gerçek hedef düğümün, (X_i, Y_i) optimizasyon algoritmaları ile bulunan tahmini hedef düğümün koordinatlarını ifade etmektedir. Ayrıca k konumu belirlenecek hedef düğümün sayısını ifade etmektedir.

2.9. K-Bağlılık Özelliği ve Önemi

KSA’larda yüzlerce hatta binlerce sayıda bulunan sensör düğümler, kablosuz olarak ortamda birbirleriyle haberleşerek veriler toplanmaktadır. Toplanan tüm verilerin baz istasyonuna gönderilmesi için sensör düğümleri birbirlerine bağlı olması gerekmektedir. Eğer ağ tam bağlı ise veriler bağlantı kopmadan baz istasyonuna ulaşmaktadır. Bu durumda ağın tam bağlı olup olmadığını incelerken herhangi 2 sensör düğüm arasında iletişim kurup kurulmadığına bakılmaktadır. Ağda bulunan her 2 sensör düğümün arasında iletişim varsa ağ tam bağlı olarak adlandırılmaktadır [88].

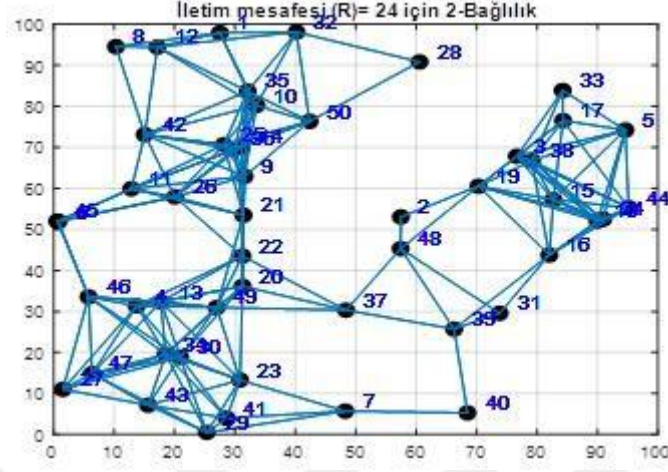
Ağdaki her 2 sensör düğümün arasında en az k tane bağlantı varsa k -bağlılık özelliğinin bulunduğu ifade edilmektedir. Bir bağlı ağlarda bazı düğümleri devre dışı kaldığında diğer sensör düğümler arasındaki iletişim kesilmektedir. Ancak ağda k -bağlılık özelliği mevcut ise $k-1$ tane sensör düğümü etkisiz hale gelse bile ağ bağlantısı kesilmemektedir. Yani k -bağlı ağlarda herhangi bir sensör düğümü devre dışı kalsa bile verilerin baz istasyonuna gönderebilecek alternatif yollar bulunmaktadır [89].

Ağda k -bağlılığı elde etmek için iletim aralığından yararlanılmaktadır. İletim aralığı arttıkça k -bağlılık artmaktadır. K -bağlılık sensör düğümlerinin güvenilirliği ve çalışması için çok önemli olmasının yanında bazı dezavantajları mevcuttur. Dezavantajı, iletim aralığı (R) arttıkça sensör düğümlerinin arasındaki bağlantı sayısı artmakta ve bu sebepten daha fazla enerji harcanmaktadır. Bu durumda sensör düğümleri enerjilerini çok fazla harcadığı için çok kısa zamanda enerjileri bitmekte ve ağın ömrü kısalmaktadır [29]. Diğer dezavantajlarından bazıları ise komşuluk sayısının artması sinyal karışıklığına neden olmaktadır. Ayrıca toplanan tüm verileri baz istasyonuna iletirken sayıca fazla yol mevcut olduğundan ihtiyaçtan fazla iletim gücü harcanmaktadır [91].

Ağın bağlantı sağlamlığı ve güvenilirliği k -bağlılık faktörüne bağlıdır. Ağdaki sensör düğümlerinin arasındaki komşuluk sayısının yani k sayısının artması ile ağın sağlamlığı ve güvenilirliği artmaktadır [90]. Ayrıca k -bağlılık ağın çalışma süresini

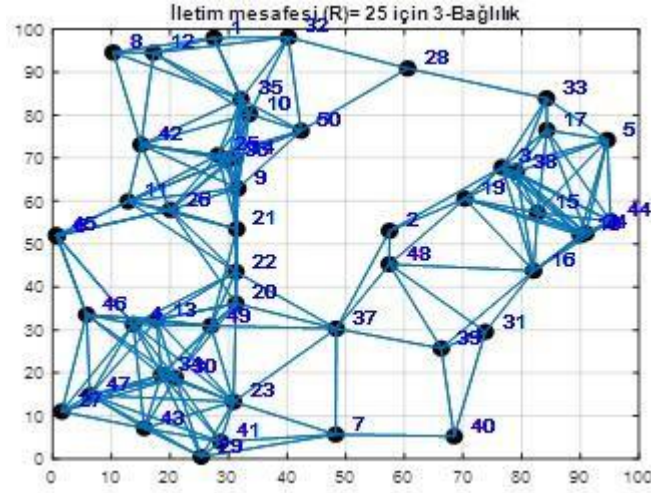
arttırmakta ve ağı hataya karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.20, 2.21, 2.22 ve 2.23'te 50 sensör düğümden oluşan 2-bağlılık, 3-bağlılık, 4-bağlılık ve 5-bağlılık için KSA grafikleri gösterilmiştir.



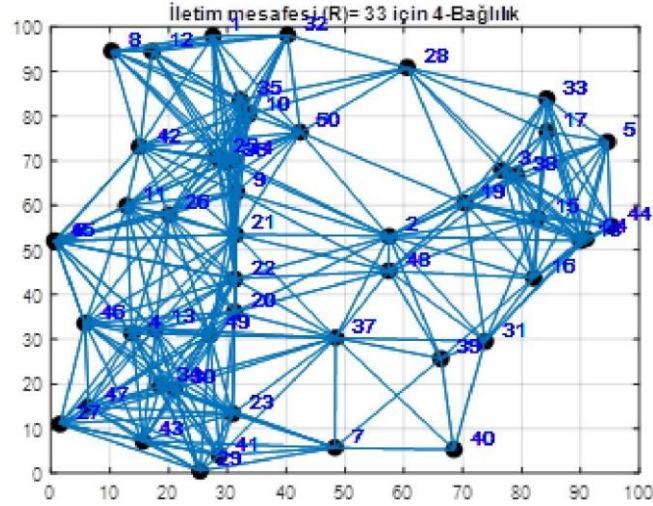
Şekil 2.20. 2-Bağlılık

Şekil 2.20'de $R=24$ alınarak elde edilen 2-bağlılık KSA örneği verilmiştir. Sensör düğümlerden 37 ve 7 devre dışı kalırsa 2, 3, 7, 15, 16, 17, 18, 24, 31, 33, 38, 39, 40, 44 ve 48 numaralı sensör düğümlerinin ağdaki diğer sensör düğümleri ile iletişimi kesilmektedir. Böylece ağ iki parçaya ayrılmaktadır. Bu durumda veriler baz istasyonuna iletilmemektedir.

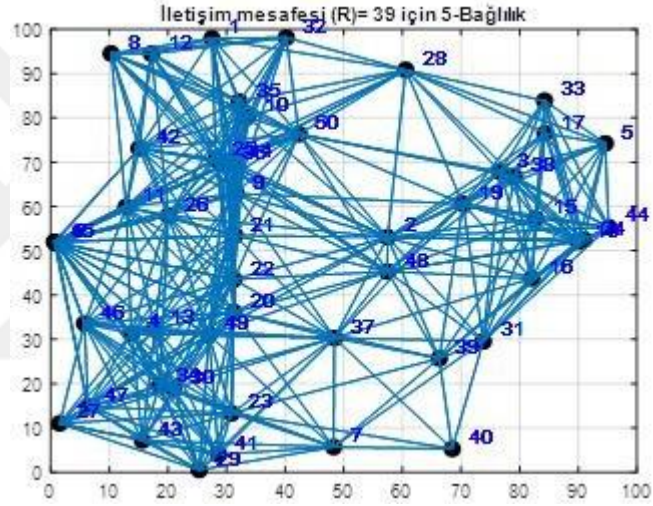


Şekil 2.21. 3-Bağlılık

Şekil 2.21'de $R=25$ için 3-bağlılığa ait KSA grafiği verilmiştir. Ağdaki 7, 28 ve 37 numaralı sensör düğümleri çalışmazsa 2, 3, 7, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 31, 38, 39, 40 ve 44 numaralı sensör düğümleri ile bağlantısı kesilmektedir.



Şekil 2.22. 4-Bağlılık



Şekil 2.23. 5-bağlılık

Şekil 2.22’de KSA’da $R=33$ için 4-bağlılık ve Şekil 2.23’te $R=39$ için 5-bağlılık elde edilmiştir. Ağda bulunan 2, 7, 28, 37 ve 48 sensör düğümleri bozulduğunda ağ iki ayrı bölüme ayrılmaktadır.

2.10. KSA’da Kullanılan Ağ Tipleri

Ağdaki sensör düğümlerinin yerleşim şekillerine göre homojen ağ veya heterojen ağ olarak iki ayrı ağ tipi bulunmaktadır. KSA’da kullanılan ağ tipleri sensör düğümlerinin iletim aralığına bağlıdır.

- **Homojen Ağ:** Homojen ağ tipinde sensör düğümleri alana eşit aralıklarla dağıtılmaktadır. Bu tip ağlarda sensör düğümleri aynı iletim aralığına sahiptir. Ancak homojen dağılımı her alanda uygulanması mümkün değildir [92].

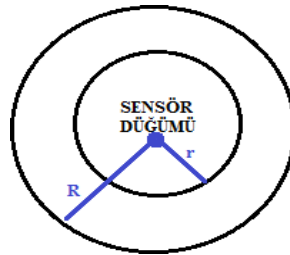
- Heterojen Ağ: Heterojen ağlarda sensör düğümleri izlenilecek ya da takip edilecek alana rastgele dağıtılmaktadır. Bu tür ağlarda sensör düğümleri farklı iletim aralığına sahiptir. Herhangi bir sensör düğümü fazla haberleştiği için pilleri daha hızlı bitmektedir [93]. Heterojen ağlar, homojen ağlara kıyasla ağın ömrünün uzamasını sağlamaktadır.

2.11. KSA'da Kapsama Alanı

KSA'da k-bağılılık özelliği gibi kapsama da çok önemlidir. Uygulama alanına yerleştirilen sensör düğümleri olayları daha iyi algılaması kapsama alanına bağlıdır. Ortam tam kapsanması için her bir noktada yer alan sensör düğümlerinin algılama alanı (r) içerisinde bulunması gerekmektedir. Kapsama KSA'ların uygulama alanlarının ihtiyaçlarına göre bölge kapsama, nokta kapsama ve sınır kapsama olarak üç sınıfa ayrılmaktadır [94].

Bölge kapsama tam veya kısmi olarak yapılabilir. Tam kapsama savaş alanını izlemek gibi önemli alanlarda uygulanmaktadır. Diğer uygulamalarda ise kısmi uygulamalar kullanılmakta ve tam kapsamaya göre kullanılan sensör düğümün sayısı daha az olduğundan avantajlıdır. Çünkü kısmi kapsamada daha az enerji kullanılmakta ve bundan dolayı ağın ömrü uzamaktadır. Nokta kapsama, sabit veya mobil olarak iki farklı türde bulunmaktadır. Nokta kapsama sadece istenilen noktaları izlemektedir. Sınır kapsama ise ülkelerin kendi sınırlarında izinsiz girişleri tespit ederek güvenliği sağlamak için kullanılmaktadır. Sınır kapsama, uygulama alanlarına göre tam sınır kapsama veya kısmi sınır kapsama olarak ikiye ayrılmaktadır. [94].

KSA tam bağlı ise kapsama yapılmalıdır. Tam bağlı ağda veriler baz istasyonuna iletelebilecektir. Bu durumda kapsama alanı ile bağılılık birlikte değerlendirilmesi önemlidir. Şekil 2.24'te sensör düğümünün algılama alanını ve iletim aralığını göstermektedir [94].



Şekil 2.24. Algılama alanı ve iletim aralığı

3. HATALI KONUMLANDIRILAN SENSÖR DÜĞÜMLERİNİN NEDENLERİ

3.1. Hatalı Konumlandırılan Sensör Düğümlerinin Nedenleri

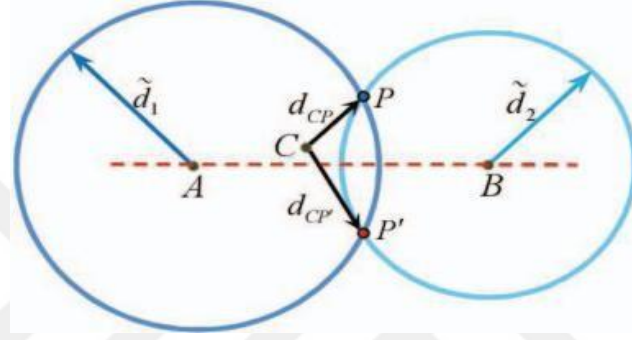
KSA’larda mesafeye bağlı yöntemler kullanılarak konum belirleme problemi çözülmeye çalışılmaktadır. Ancak bazı sensör düğümleri hatalı konumlandırılmaktadır. Meydana gelen hatalar flip belirsizliğine, çapa sayısına, ağ topolojisine, komşu sayısına ve gürültü gibi faktörlere bağlıdır [95].

3.2. Flip Belirsizliği

KSA’larda mesafeye bağlı konum belirlenmesinde gözlemlenen en önemli sorunlardan biri flip belirsizliğidir. Gürültü ve sensör düğümlerinin uygulama alanlarına rastgele dağıtılması flip belirsizliğinin oluşmasına neden olmaktadır. KSA’nın bir bölümünde ya da tamamında görülebilmektedir [96]. Ayrıca flip belirsizliği her zaman meydana gelmez ancak olması durumunda sensör düğümünün gerçek konumunu hatalı bir şekilde tahmin edilmesine neden olmaktadır [97]. Flip belirsizliğini etkileyen diğer faktörler: referans düğümlerinin sayısı ve referans düğümlerinin arasındaki mesafe hatasıdır.

Ağdaki sensör düğümünün, komşu sensör düğümleri doğrusal veya kısmen doğrusal olması durumunda ayna görevi görüp sensör düğümünün gerçek konumunu yansıtmakta ve durum flip belirsizliği olarak adlandırılmaktadır. Böylece hatalı konumlandırılan sensör düğümleri meydana gelmektedir. Algoritmaların başlangıcında konumu bilinen az sayıda sensör düğümü bulunduğu için flip belirsizliği artmaktadır. Ancak iterasyonlar ilerledikçe daha fazla sayıda komşu sensör düğümleri ile konum tahmini yapılmakta ve bu durumda flip belirsizliği azalmaktadır. Eğer komşu sensör düğümlerinde flip belirsizliği mevcut ise ağın ortalama konum hatası artmakta ve diğer sensör düğümlerinin gerçek konumlarının hatalı bir şekilde tahmin edilmesine neden olmaktadır [98].

Şekil 3.1’de flip belirsizliğini ifade eden bir örnek gösterilmektedir. Şekilde 3.1’de A, B ve C konumu bilinen çapa düğümünü ve P ise konumu bilinmeyen sensör düğümünün gerçek konumunu temsil etmektedir. P’nin komşu sensör düğümleri A, B ve C’dir. P’nin A, B ve C’ye göre uzaklıkları $\tilde{d}_1$, $\tilde{d}_2$ ve $\tilde{d}_{CP}$ ile gösterilmektedir. İki tane çember çizildiğinde A ve B sensör düğümünün merkezi ve $\tilde{d}_1$ ve $\tilde{d}_2$ ise yarıçapı olmaktadır. P sensör düğümünün komşuları doğrusal olduğu için flip belirsizliği meydana gelmektedir. Flip belirsizliği P’nin gerçek konumunu yansıtarak P’ olarak tahmin edilmektedir [99].



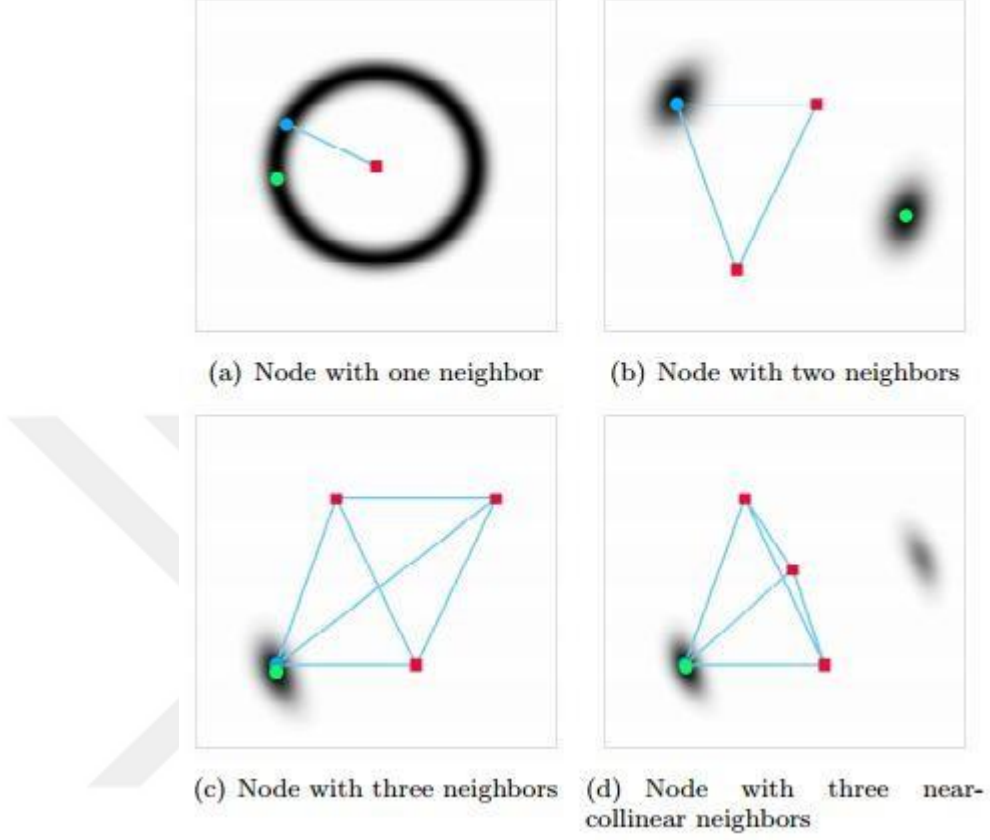
Şekil 3.1. Flip belirsizliği [99]

3.3. Sensör Düğümünün Komşu Sayısı

Sensör düğümünün konumunu tespit edebilmek için 3 veya 3’ten daha fazla referans düğümü kullanılmaktadır. Ağdaki her bir sensör düğümü için tahmini konum hesaplanmakta ve daha sonra komşu sensör düğümlere iletilmektedir. Böylece sensör düğümünün konumu, kendisine komşu olan referans düğümlerinin tahmini konumları kullanılarak bulunmaktadır. Eğer bir sensör düğümünün komşu sayısı yeterli değilse konumu tahmin edilemez [100].

Şekil 3.2’de bir sensör düğümünün komşuluk ilişkisi kullanılarak konumunun tahmin edilmesi ile ilgili bir örnek gösterilmektedir. Örnekte sensör düğümünün gerçek konumunu mavi renkle, tahmini konumunu yeşil renkle ve komşularını ise kırmızı renkle ifade edilmektedir. Ayrıca mavi renkli çizgiler ise komşuluk bağlantısını göstermektedir. Şekil 3.2(a)’da sensör düğümünün 1 tane ve 3.2(b)’de ise 2 tane komşusu olduğu gösterilmektedir. Şekillerde komşu sayısı az olduğu için sensör düğümünün konumu yanlış tahmin edilmektedir. Şekil 3.2(c)’de ise 3 tane komşusu bulunduğu için gerçek konumu ile tahmini konumu arasında hata bulunmamaktadır. Bu durumda gerçek konumu tahmin edilirken 3 veya daha fazla komşu kullanılması

sensör düğümünün hatalı konumlandırılması önlenabilmektedir. Şekil 3.2(d)'de 3 tane komşu sensör düğümünün kısmen doğrusal olduğu durum gösterilmektedir [100].



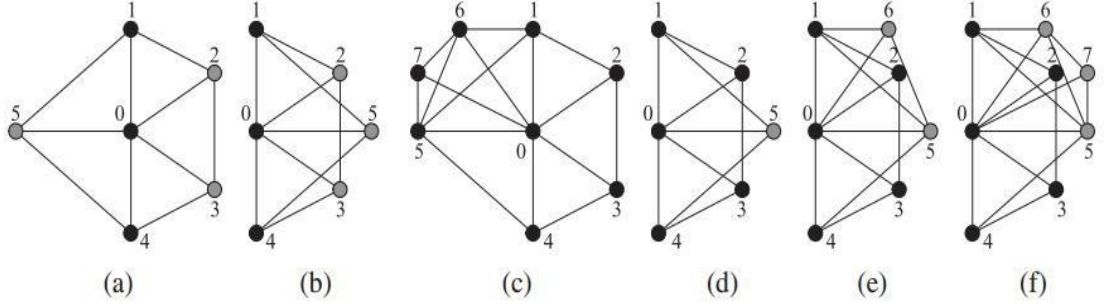
Şekil 3.2. Sensör düğümün komşu sayısı [100]

3.4. KSA'larda Doğrusallık Özelliği

KSA'larda sensör düğümleri aynı doğru üzerinde olursa sensör düğümünün hatalı konumlandırılmasına neden olmaktadır. Bir sensör düğümün hatasız konumlandırılabilmesi için en az 3 tane doğrusal olmayan komşu sensör düğümü gereklidir. Ancak büyük ölçekli alanda rastgele dağıtılan sensör düğümlerinin herhangi 3 tane sensör düğümünün aynı doğru üzerinde olma olasılığı yüksektir [101].

Aynı doğru üzerinde bulunan sensör düğümlerinde mesafe kısıtlamaları olmakta ve bu durum yüksek konumlandırma hatalarına neden olmaktadır. Şekil 3.3'te doğrusal özelliği bulunan KSA örneği gösterilmektedir. Şekil 3.3(a)'da 0, 1 ve 4 numaralı sensör düğümleri aynı doğru üzerinde yer almaktadır. Bundan dolayı Şekil 3.3(b)'de 5 numaralı sensör düğümü hatalı konumlandırılmaktadır. Şekil 3.3(c)'de ise 5, 6 ve 7

numaralı sensör düğümün komşusu olan 0, 1 ve 4 sensör düğümleri doğrusaldır. Şekil 3.3(e)'de 6 numaralı sensör düğümü 0, 1 ve 5 numaralı sensör düğümlerinin ve Şekil 3.3(f)'te ise 7 numaralı sensör düğümü 0, 5 ve 6 sensör düğümlerinin mesafe kısıtlamalarından dolayı hata yayılmaktadır [101].



Şekil 3.3. Doğrusal sensör düğümleri [101]

4. MATERYALLER VE YÖNTEMLER

4.1. Optimizasyon Algoritmaları

Optimizasyon algoritmaları, çözülmesi zor problemlerinin en optimum çözümünü bulmak için önerilen çözüm tekniğidir. Optimizasyon algoritmaları stokastik ve deterministik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik algoritmalarda kesin çözüm üretilmekte ama stokastik algoritmalar da ise rastgele değerler eklendiği için kesin çözüme yakın değer elde edilmektedir. Stokastik algoritmalarda, sezgisel ve meta-sezgisel olarak iki farklı algoritma türü mevcuttur. Sezgisel algoritmalar, makul süre içinde optimuma yakın çözümler sunmaktadır. Meta-sezgisel algoritmalar ise sezgisel algoritmalarından daha gelişmiş algoritma türüdür. Meta-sezgisel algoritmalar ile daha hızlı sürede optimum çözüm elde edilmektedir [102].

Ayrıca meta-sezgisel algoritmalar, popülasyon tabanlı algoritmalar ve evrimsel algoritmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Popülasyon tabanlı algoritmalar, kuş, balık, karınca gibi canlıların yiyecek ararken ve tehlikelerden kaçarken sergiledikleri davranışlardan esinlenerek geliştirilmiştir. Ateşböceği algoritması, karınca koloni optimizasyon algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması, gri kurt optimizasyon algoritması gibi popülasyon tabanlı algoritmalara örnek verilmektedir. Evrimsel algoritmalar, biyolojik evrimi temel alınarak modellenmiştir. Evrimsel algoritmalar genetik algoritmalar ve diferansiyel gelişim algoritması örnek verilmektedir [103].

4.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından tasarlanan optimizasyon algoritması Parçacık Sürü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization, PSO) olarak adlandırılmaktadır [104]. PSO algoritmasının temeli balık ve kuşların sürü halinde hareket ederek bilgi alışverişine dayanmaktadır. Balık ve kuşlar sürü halinde hareket ederek kendilerini tehlikelerden korunmakta ayrıca yiyecek kaynağına ulaşmalarını sağlamaktadır [105].

Yiyecek kaynağına diğer kuşlardan daha yakın olan kuşa ise lider kuş denilmektedir. Lider kuşu toplulukta bulunan diğer kuşlar takip etmekte ve sabit kalmamaktadır. Kuşların ve balıkların oluşturduğu toplulukdaki yer alan bireylerin her birine parçacık, topluluğa da sürü denilmektedir [106]. Parçacık ilk çözüm uzayını oluştururken arama uzayına rastgele dağıtılmaktadır. Denklem 4.1 kullanılarak parçacıkların başlangıç değerleri atanmaktadır.

$$X_{id}^1 = X_{min,d} + r_{id}(X_{maS,d} - X_{min,d}) \quad (4.1)$$

Burada X_{id}^1 , d-boyutlu uzayda i. parçacığın pozisyonunu, $X_{min,d}$ alt sınırını, $X_{maS,d}$ üst sınırını ve r_{id} [0,1] aralığında rastgele sayıyı temsil edilmektedir. Parçacıklara atanan başlangıç değerleri alt ve üst sınırı içerisinde yer almalıdır.

PSO iterasyona bağlı bir algoritma çeşididir. Bu durumda her iterasyonda durdurma kriteri sağlanana kadar sürüdeki parçacıkların hız vektörü Denklem 4.2 ile yenilenmektedir. Önceki ve genel tecrübe kullanılarak hız vektörü hesaplanmaktadır. Ayrıca hız vektörü ile parçacıkların pozisyonları her bir iterasyonda güncellenmekte ve matematiksel formülü aşağıdaki Denklem 4.3'te gösterilmektedir. Hız vektörü, PSO algoritmasının nasıl ilerleyeceğini yönlendirdiği için önemlidir.

$$V_{id}^{t+1} = w_{id}^t + c_1 r_1 (Pbest_{id}^t - X_{id}^t) + c_2 r_2 (Gbest_i^t - X_{id}^t) \quad (4.2)$$

$$X_{id}^{t+1} = X_{id}^t + V_{id}^{t+1} \quad (4.3)$$

Burada V_{id}^t , t zamanda d-boyuttaki i. parçacığın hızını, c_1 bilişsel öğrenme faktörünü, c_2 sosyal öğrenme faktörünü belirtmektedir. Denklemdeki r_1 ve r_2 [0,1] aralığında rastgele değer alan parametrelerdir. Rastgele sayılar algoritmada durdurma kriteri sağlanana kadar yenilenmektedir. Her bir iterasyonun sonunda amaç fonksiyonu dikkate alınarak bulunan en iyi konum $Pbest$ ile ifade edilmekte, lokal en iyi pozisyonu denilmekte ve her iterasyonda değeri saklanmaktadır [107]. $Pbest$ 'in matematiksel formülü Denklem 4.4'te gösterilmiştir.

$$Pbest_i^t = \begin{cases} Pbest_i^t & , \quad f(X_i^{t+1}) \geq f(Pbest_i^t) \\ X_i^{t+1} & , \quad f(X_i^{t+1}) < f(Pbest_i^t) \end{cases} \quad (4.4)$$

Amaç fonksiyonu f ile gösterilmekte ve optimum çözüm elde edilmektedir. Yani parçacıkların performansı, amaç fonksiyonunda yerine konularak bulunmaktadır [108].

$$Pbest_{id} = \{Pbest_{1d}, Pbest_{2d}, \dots, Pbest_{Ad}\} \quad (4.5)$$

Burada $i=1,2,\dots,A$ parçacıkların lokal en iyi pozisyonu belirtmektedir. Daha sonra tüm sürüde optimum çözüme en yakın olan en iyi parçacığın konum değeri $Gbest$ ile gösterilmekte ve global en iyi pozisyon denilmektedir. $Gbest$ Eşitlik 4.6'da ifade edilmektedir [109].

$$Gbest = \min\{f(Pbest_{1d}), f(Pbest_{2d}), \dots, f(Pbest_{Ad})\} \quad (4.6)$$

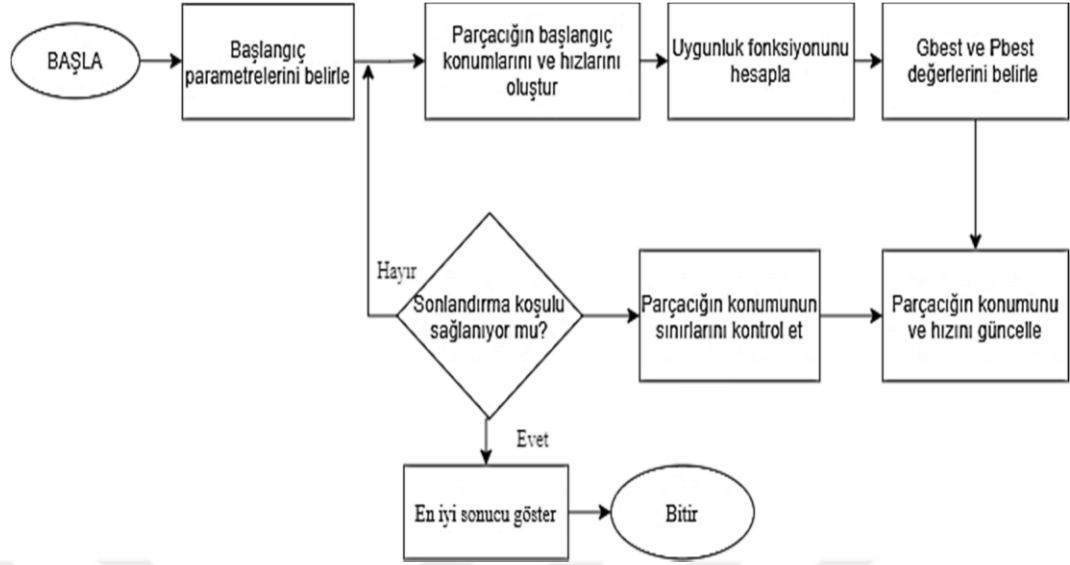
Kısacası amaç fonksiyonun minimum değer $Gbest$ 'i ifade etmektedir. Parçacıkların $Gbest$ ve $Pbest$ değerlerinden uzaklaştığında hız değerinin arttığı ve bu durumda ıraksamaya neden olmaktadır. Bu problemi çözmek için hız vektörü sınırlandırılmaktadır. Aşağıdaki Denklem 4.7 kullanılarak hız vektörü ayarlanmaktadır. Böylece parçacıkların çözüm uzayından uzaklaşması engellenmektedir [108].

$$V_{id}^{(t+1)} = \begin{cases} V_d^{(t+1)} & , V_d^{(t+1)} < V_{maS,d} \\ V_{maS,d} & , V_d^{(t+1)} \geq V_{maS,d} \end{cases} \quad (4.7)$$

PSO'da dikkate alınacak önemli parametrelerden biride atalet ağırlığıdır ve w ile gösterilmektedir. Atalet ağırlığı parçacıkların önceki hızını temsil etmekte ve parçacığın hızını kontrol etmektedir. Yani önceki hızını, sonraki hıza hangi oranda etkileyeceğini belirlemektedir [108, 110].

Avantajı, kullanılan parametre sayısının diğer algoritmalara göre daha az olması ve daha hızlı bir şekilde en uygun çözüm elde edilmesidir. Dezavantajlarını iyileştirmek için literatürde birçok modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.1’de PSO’nun akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. PSO’nun akış diyagramı

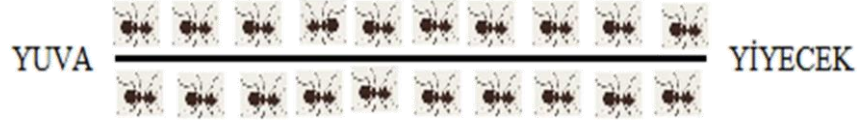
4.1.2. Karınca Koloni Algoritmasının Özellikleri

Dorigo ve Gambardelle (1991) karıncaların davranışlarını inceleyerek geliştirdikleri sistemlerine Karınca Sistemi ve algoritmalarına da Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Optimization, ACO) adı verilmiştir. Algoritmanın temeli, gerçek karıncaların yiyecek kaynağı ile yuva arasındaki ya da yuva ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa mesafeyi bulmaya dayanmaktadır. Karınca koloni algoritması oluşturulurken yapay karıncalar ele alınmıştır [111].

4.1.2.1. Gerçek Karıncaların Davranışları

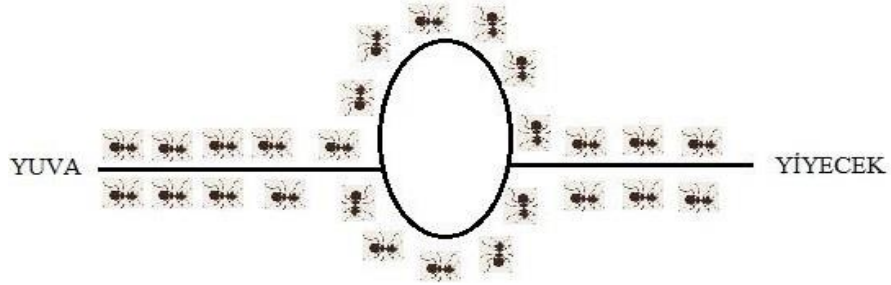
Gerçek karıncalar görebilme yeteneğine sahip değildir ancak çevreye adapte olabilme özellikleri bulunmaktadır. Bu durumda karıncalar yiyecek kaynağına giden en kısa hattı bulmak için vücutlarından salgıladıkları feromon adı verilen kimyasal maddeyi kullanmaktadırlar. Feromon maddesi karıncaların birbirleriyle iletişim kurabilmelerine ve yön bulabilmelerine yardımcı olmaktadır. Karıncalar geçtikleri yollara feromon maddesi bırakmakta ve diğer karıncalar feromon seviyesine göre en kısa yolu seçmektedirler.

Şekil 4.2’de karıncaların yiyecek ile yuva arasında düz yol boyunca ilerlediği gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Karıncaların izledikleri yol

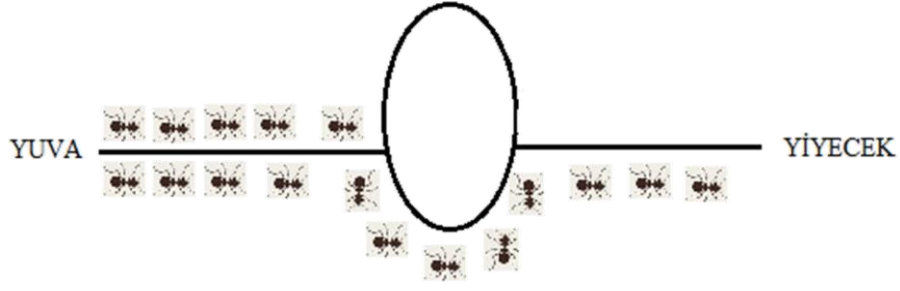
Şekil 4.3’te yuva ile yiyecek kaynağının arasına engel konulduğu gösterilmiştir. Engelin önündeki ve arkasındaki karınca, feromon maddesi bulunmayan yolu takip edemez ve bu yollardan hangisinin kullanılabileceği yönünde rastgele birini seçmek zorunda kalmaktadır. Bu durumda karıncalar eşit olasılıkla sağ ve sol taraftan ilerlemektedirler [112]. Hızları aynı olduğu düşünülürse kısa mesafeyi kullanan karıncaların sayısı, uzun mesafeyi kullananlara göre daha fazladır. Karıncaların eşit miktarda feromon maddesi bıraktığı kabul edilirse kısa mesafedeki feromon miktarı daha fazla olacaktır. Feromon miktarının artması koku miktarının artmasına yol açmaktadır. Böylece diğer karıncalarda feromon miktarının fazla olduğu yönü tercih edecekler ve tercih edilen yolda depolanan koku miktarı da daha yoğun olacaktır [108].



Şekil 4.3. Karıncaların ilerlediği yola engel konulması

Karıncalar feromon miktarına bağlı olarak en kısa mesafeyi seçmektedirler. Aynı hızla ilerleyen karıncaların eşit seviyede feromon bıraktığı varsayıldığında engelle karşılaşan ilk karıncaların en kısa mesafeyi bulmaları biraz uzun sürmekte ama diğer karıncalar daha kısa zamanda bulmaktadırlar [112]. Kısacası karıncalar feromon seviyesinin daha yoğun olduğu yolu seçme olasılıkları, diğer yolu seçme olasılığından daha yüksektir. Ayrıca feromonlar, karıncalar tarafından güncellenmekte ve yolun kalitesi ise feromon miktarı ile doğru orantılıdır [113].

Şekil 4.4'te karıncaların en kısa mesafeyi tercih ettiklerini göstermektedir.



Şekil 4.4. Karıncaların en kısa yolu tercih etmesi

4.1.2.2. Karınca Koloni Algoritması

ACO yapay karıncalar ile oluşturulan bir algoritma türüdür. Algoritmada kullanılan yapay karıncalarının görme duyuları tamamen yok olmamıştır. Ayrıca ayrı bir zamanda yaşamaktadırlar ve kısıtlı hafızaya sahiptirler [112].

ACO iteratif bir algoritma olduğu için ilk iterasyonda karıncalar gidecekleri yolları eşit olasılıkla tercih etmektedirler. İlk iterasyon tamamlandıktan sonra feromon seviyeleri güncellenmektedir. Güncellenen feromon miktarına bağlı olarak yol seçilmektedir. Karıncaların yol tercihleri iki farklı olasılığa bağlıdır [114].

Birinci olasılık, feromonun daha yoğun olduğu hattın seçilmesidir. Olasılık q_0 olarak alınmakta ve parametre %90 olarak belirlenmektedir. Karıncanın i noktasından j noktasına giderken u tane seçebileceği yollar bulunmaktadır. Denklem 4.8 kullanılarak seçilecek yol belirlenebilmektedir [114].

$$j = \max_{u \in J_k(i)} \{ [r(i, u)]^\alpha \times [5(i, u)]^\beta \} \quad \text{eğer } q \leq q_0 \quad (4.8)$$

Burada $r(i, j)$ feromon seviyesini ve $5(i, j)$ seçilebilirlik parametresini belirtmektedir. Uzaklığın tersini $5(i, j) = 1/\delta(i, j)$ ifade etmektedir. Alfa (α) ve beta (β) ayarlanabilen parametrelerdir [114].

İkinci olasılıkta ise feromon miktarı dikkate alınarak karıncanın hangi yolu seçeceği belirlenmektedir. Yolun seçilme olasılığı $1 - q_0$ olarak ele alınmaktadır. Karıncaların geçebilecek tüm güzergahların seçilebilme olasılığı Denklem 4.9 ile bulunmaktadır [114].

$$P_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[r(i, u)]^{\alpha} \times [[5(i, u)]^{\beta}]}{\sum_{u \in J_k(i)} [r(i, u)]^{\alpha} \times [[5(i, u)]^{\beta}]} & , \text{ eğer } j \in C_k(i) \\ 0 & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.9)$$

Böylece feromon miktarı ile yolların seçilebilme olasılığı doğru orantılıdır. Popülasyondaki tüm karıncalar turlarını bitirdikten sonra feromonlar güncellenmektedir. Feromon güncellenmesi arama uzayına daha detaylı taramak için önemlidir. Lokal ve global feromon güncellenmesi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Lokal feromon güncellenmesinin matematiksel formülü aşağıdaki Denklem 4.10'da verilmektedir [114].

$$r_{ij}^k(t+1) = (1 - \rho)r_{ij}^k(t) + \sum_{k=1}^m \Delta r_{ij}^k(t+1) \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'da, r_{ij}^k, t iterasyonda depolanan feromon miktarını, ρ [0,1] aralığında değer alan buharlaşma oranını göstermektedir. Denklem 4.11 kullanılarak Δr_{ij}^k hesaplanmaktadır [114].

$$\Delta r_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L^k(t+1)} & , \text{ k karıncaklık (i, j) yolunu kullanmışsa} \\ 0 & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.11)$$

Burada $L^k(t+1)$, k karıncanın (i, j) yolunu kullanarak tamamladığı toplam yol uzunluğunu ifade etmektedir. Lokal feromon güncellenmesi ile karıncalar her bir iterasyonda güzergâhlarını değiştirmektedir. Böylece en kısa yolu bulmaları kolaylaşmaktadır. Global feromon güncellemesi ile algoritmadaki optimum çözüme en yakın olan karıncanın gittiği yolun feromon seviyesi arttırılmaktadır. Bundan sonra en iyi sonuç diğer iterasyonlara aktarılmaktadır. Global feromon güncellenmesinin matematiksel formülü Denklem 4.12'de verilmektedir [114].

$$r_{ij}(t+1) = (1 - \rho)r_{ij}(t) + \Delta r_{ij}^k(t+1) \quad (4.12)$$

$\Delta r_{ij}^k(t+1)$, feromon seviyesi aşağıdaki Denklem 4.13 kullanılarak bulunmaktadır [114].

$$\Delta r_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} 1 & , (i, j) \text{ ek iyi tura ait ise} \\ \frac{1}{L_{best}^k(t+1)} & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.13)$$

$L_{best}^k(t+1)$, k karıncanın mevcut iterasyonda bulunan en kısa yolu belirtmektedir.

4.1.3. Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu

ACO başlangıçta ayrık optimizasyon problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır. Ancak Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyon (Ant Colony Optimization for Domains, ACO_R) algoritması sürekli optimizasyon problemlerin çözülebilmesi için Socha ve Dorigo (2008) tarafından modellenmiştir. ACO_R, ACO'dan farklı olarak sürekli Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunu (Probability Density Function, PDF) kullanmaktadır [115].

Ancak PDF'den daha kolay olan Gaussian işlevi kullanılmakta ve PDF'nin yerini almaktadır. Arama uzayını daha iyi incelemek için Gaussian işlevleri geliştirilerek Gaussian çekirdek fonksiyonu oluşturulmuştur. Denklem 4.14 kullanılarak Gaussian çekirdek fonksiyonu elde edilmektedir [115, 116].

$$G^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l g_l^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(S-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^i}} \quad (4.14)$$

Gaussian çekirdek fonksiyonu birden fazla tek boyutlu Gaussian fonksiyon vektörünün ağırlıklı toplamından oluşmaktadır. Denklem 4.14'te, i problemin boyutunu, $g_l^i(x)$ k adet Gaussian fonksiyonunu, $G^i(x)$ Gaussian çekirdek fonksiyonunu, μ_l^i Gaussian fonksiyonun ortalama vektörünü, σ_l^i Gaussian fonksiyonun standart sapmasını ve w_l vektörünün ağırlığını temsil etmektedir.

ACO_R'da feromon verilerin saklanması çözüm tablosundan yararlanılmaktadır. Çözüm tablosunda $i=1,2,...,n$ boyutlu probleminin aday çözümlerini s_i ile gösterilmektedir. Aday çözümlerin her birinin amaç fonksiyonları hesaplanmakta ve $f(s_i)$ ile temsil edilmektedir. ACO_R'da Rulet Çarkı kullanıldığı için aynı çözüm seçilmemektedir. Bu durumda farklı çözümler seçilerek ACO_R daha verimli bir yöntem haline gelmektedir [117].

Şekil 4.5'te çözüm tablosu yer almaktadır.

s_1	s_1^1	...	s_1^i	...	s_1^n	$f(s_1)$	w_1
s_2	s_2^1	...	s_2^i	...	s_2^n	$f(s_2)$	w_2
	...	...	...	...	...	...	...
s_l	s_l^1	...	s_l^i	...	s_l^n	$f(s_l)$	w_l
	...	...	...	...	...	...	...
s_k	s_k^1	...	s_k^i	...	s_k^n	$f(s_k)$	w_k
	G^1		G^i		G^n		

Şekil 4.5. ACO_R için çözüm tablosu

Amaç fonksiyonları $f(s_1) \leq f(s_2) \leq \dots \leq f(s_l) \leq \dots \leq f(s_k)$ ve ağırlık vektörü ise $w_1 \geq w_2 \geq w_3 \geq \dots \geq w_l \geq \dots \geq w_k$ gibi sıralanmaktadır. Ayrıca tabloda yer alan G^n ise n-boyutlu Gaussian çekirdek PDF'sini belirtmektedir. Gaussian fonksiyonun ortalaması μ^i aşağıdaki Eşitlik 4.15'te tanımlanmaktadır [115, 118].

$$\mu^i = \{\mu_1^i, \dots, \mu_k^i\} = \{s_1^i, \dots, s_k^i\} \quad (4.15)$$

Gaussian ağırlık vektörün sıralanması, amaç fonksiyonuna bağlıdır. Denklem 4.16 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_l = \frac{1}{q_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-1)^2}{2q^2 k^2}} \quad (4.16)$$

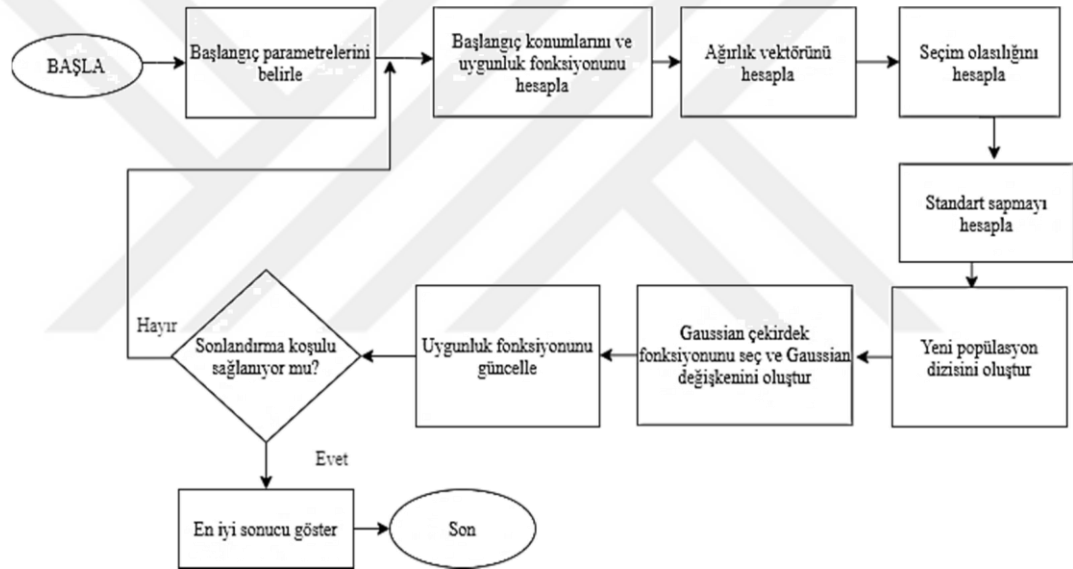
Burada q_k standart sapmayı ve w_l , l argümanlı ve ortalaması 1.0 olan Gaussian fonksiyonun ağırlıklı vektörünü ifade etmektedir. Standart sapmanın değerinin küçük seçilmesi optimum çözümün seçilebilme şansını arttırmaktadır. Çözüm tablosundaki her bir satırın yani Gaussian çekirdek fonksiyonun seçilebilme olasılığı Denklem 4.17'de belirtilmektedir. Çözüm tablosunda yer alan herhangi bir çözümü seçmek ve güncelleyebilmek için seçilebilme olasılığı hesaplanmasında seçilen satırın öncelikle Gaussian ağırlık vektörü hesaplanması önemlidir [115, 118].

$$P_l = \frac{w_l}{\sum_{r=1}^k w_r} \quad (4.17)$$

Denklem 4.18 ile standart sapma hesaplanmakta ve σ_j ile gösterilmektedir. Çözüm tablosundan seçilen s_j^i çözümün, tabloda bulunan çözümlere olan ortalama mesafe standart sapma ile bulunmaktadır. Denklemdeki $\epsilon > 0$ parametresi feromon buharlaşma katsayısına benzer bir fonksiyondur. Algoritmanın optimum çözüme ulaşmak ve yakınsama hızını arttırmak için ϵ parametrenin değeri azaltılmalıdır. ϵ parametre seçimi, daha önce seçilen çözümlere tekrar seçilme şansını arttırmaktadır [116].

$$\sigma^i = \epsilon \sum_{e=1}^k \frac{|S_e - S^i|}{k-1} \quad (4.18)$$

Şekil 4.6’da ACO_R’un akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.6. ACO_R algoritması için akış diyagramı

4.1.4. Girdap Arama Algoritması

Doğan ve Ölmez’in (2015) girdap modelinden esinlenerek geliştirdikleri algoritmalarına Girdap Arama Algoritması (Vortex Search Algorithm, VSA) adını vermişlerdir. VSA tek-çözüm tabanlı meta-sezgisel bir algoritma türüdür. Algoritma tek-çözüm tabanlı olduğu için bir tane aday çözüm ile optimum sonuca ulaşılmaktadır. VSA optimum çözüme ulaşmak için belirlenen merkezin çevresindeki girdap deseni iterasyonlarla azaltılmaktadır. Algoritmanın özellikleri arasında basit olması ve hesaplamayı daha hızlı gerçekleştirmesi göze çarpmaktadır. [103].

VSA’da 2-boyutlu optimizasyon probleminin çözümü için yarıçapları azaltılarak iç içe geçen daireler kullanılmaktadır. Bu girdap modelinin en büyük dairenin merkezi Denklem 4.19 kullanılarak hesaplanmakta ayrıca en büyük dairenin merkezi çözüm uzayının ortası olarak belirlenmektedir [103, 119].

$$\mu_0 = \frac{\text{üstlimit} + \text{altlimit}}{2} \quad (4.19)$$

Burada μ_0 başlangıç merkezidir. Ayrıca üst limit ve alt limit problemin sınırlarını belirtmektedir. Algoritmada en büyük dairenin yarıçapına, başlangıç yarıçapı denilmekte ve ilk aşamada büyük bir değer atanmaktadır. Bu durumda çözüm uzayının tam olarak kapsanması sağlanmaktadır. En büyük dairenin yani dış dairenin yarıçapı (σ_0) Denklem 4.20 ile bulunmaktadır [103, 119].

$$\sigma_0 = \frac{\max(\text{üstlimit}) - \min(\text{altlimit})}{2} \quad (4.20)$$

Arama uzayının çözünürlüğü şekil parametresinin güncellenmesi ile sağlanmaktadır. $a > 0$ şekil parametresini ifade etmektedir. Parametrenin ilk değeri $a_0 = 1$ olarak atanmaktadır. Böylece ilk iterasyonda arama uzayı tam olarak kapsanabilmektedir. Denklem 4.21 kullanılarak hesaplanmaktadır [103, 119].

$$a_t = a_0 - \frac{t}{\text{MaxIter}} \quad (4.21)$$

Burada t iterasyon sayısını ve MaxIter maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. Yarıçap, algoritmayı değerlendirmek için önemli bir parametredir. Ters tamamlanmamış gama fonksiyonu ile yarıçap hesaplanmakta ve her yinelemede yarıçapın değerini azaltmak için kullanılmaktadır. Yarıçapın hesaplanması için genel matematiksel formül Denklem 4.22’de verilmektedir [103, 119].

$$r_t = \sigma_0 \times (1/x) \times \Gamma(x, a_t) \quad (4.22)$$

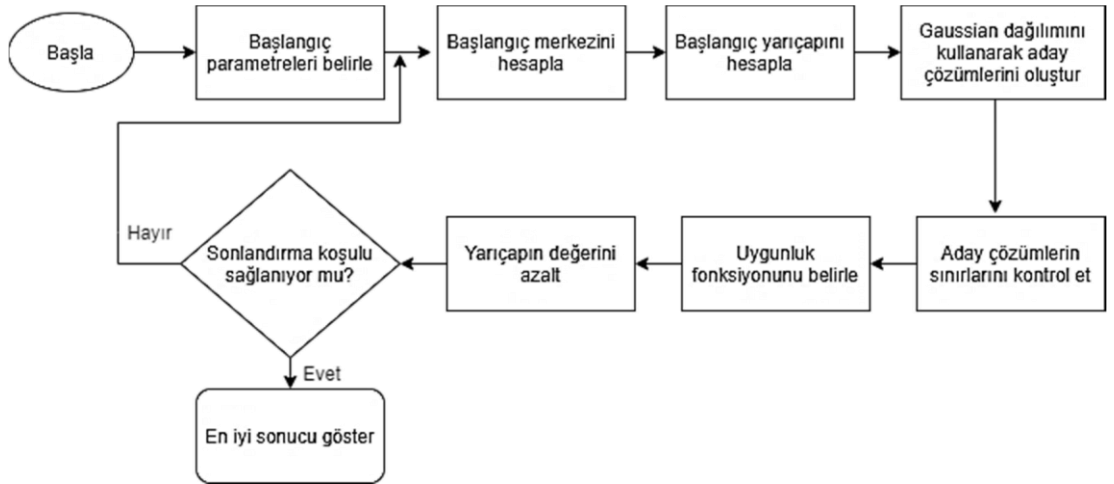
Burada x değeri için 1.0 alınması algoritmayı tasarlananlar tarafından önerilmiştir. Böylece VSA’nın daha iyi performans göstereceği belirtilmiştir. Ayrıca Γ , ters gamma fonksiyonu olarak tanıtılmaktadır. MATLAB yazılım programında ters gamma fonksiyonunun eşdeğeri gammaincinv fonksiyonudur [103, 119].

Algoritma başlangıçta $C(s)$, n adet aday çözümlerden oluşan kümeyi tanımlamaktadır. Eğer aday çözümler değiştirilecekse $C(s)$ 'den seçilmekte ve durdurma koşulu sağlanana kadar güncellenmektedir. Buradaki aday çözümler, gaussian dağılım ile oluşturulmaktadır. Arama uzayının içinde yer almayan aday çözümler Denklem 4.23 dikkate alınarak belirlenen sınırlara kaydırılmaktadır [103, 119].

$$C(s)_k^i = \begin{cases} \text{rakd. (üstlimit}^i - \text{altlimit}^i) + \text{altlimit}^i, & C(s)_k^i < \text{altlimit}^i \\ C(s)_k^i, & \text{altlimit}^i \leq C(s)_k^i \leq \text{üstlimit}^i \\ \text{rakd. (üstlimit}^i - \text{altlimit}^i) + \text{altlimit}^i, & C(s)_k^i > \text{üstlimit}^i \end{cases} \quad (4.23)$$

VSA'da ilk aday çözüm üretildikten sonra bulunan en iyi çözüm $s' \in C(s)$ hafızaya alınmakta ve ikinci çemberin merkezi olarak atanmaktadır. Daha sonra yarıçap azaltılmaktadır. Diğer iterasyonda yeni aday çözüm kümesi, bulunan yeni merkezin etrafında üretilmektedir. Yarıçap azaltma işlemi ile arama uzayı daraltılmakta ve bu daraltılan alanda yeni aday çözümler üretilmektedir. İkinci iterasyonun sonunda ortaya çıkan en iyi çözüm bir önceki iterasyonun sonunda bulunan çözümden daha iyi bir değere sahipse hafızaya alınmaktadır. Hafızaya alınan çözüm, optimizasyon problemi için optimum çözüm olarak kabul edilmektedir. Optimum çözümü bulmak için algoritma durdurma koşulu sağlanana kadar devam edilmektedir [103, 119].

Şekil 4.7'de VSA algoritması için akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.7. VSA için akış diyagramı

4.1.5. Yabani Ot Optimizasyonu

Mehrabian ve Lucas (2006), yabani otların kolonileşmesinden esinlenerek yeni bir optimizasyon algoritması olan Yabani Ot Optimizasyon Algoritmasını (Invasive Weed Optimization, IWO) tasarlamışlardır. Yabani otlar çok sağlam ve çevreye kolayca adapte olma gibi özelliklerini barındırmaktadır. İstenilmeyen bu otlar tarlayı istila ederek ekili bitkilere zarar vermektedir [120].

IWO’da ilk popülasyon, d-boyutlu çözüm uzayına uniform şeklinde rastgele tohumlar dağıtılarak oluşturulmaktadır. Popülasyonda yer alan tohumlardan her biri çiçekli bitkiye dönüşmektedir. Çiçeklenen otların sahip oldukları amaç fonksiyon değerlerine göre sıralanmakta ve sıralamaya bağlı olarak yeni tohumlar üretilmektedir. En önemli nokta yeni tohum üretiminde, amaç fonksiyonun maksimum ve minimum değerleridir. Her bir yabani otun üreteceği tohum sayısı, minimum sayıda üretilen tohum sayısından maksimum sayıda üretilen tohum sayısına doğru lineer olarak artmaktadır. Böylece popülasyondaki her bir yabani otun yeni tohumlar üretmesine imkân sağlanmaktadır [120].

$$S = [S_{\min} + (S_{\max} - S_{\min}) \left(\frac{U_i - U_{\text{en kötü}}}{U_{\text{en iyi}} - U_{\text{en kötü}}} \right)] \quad (4.24)$$

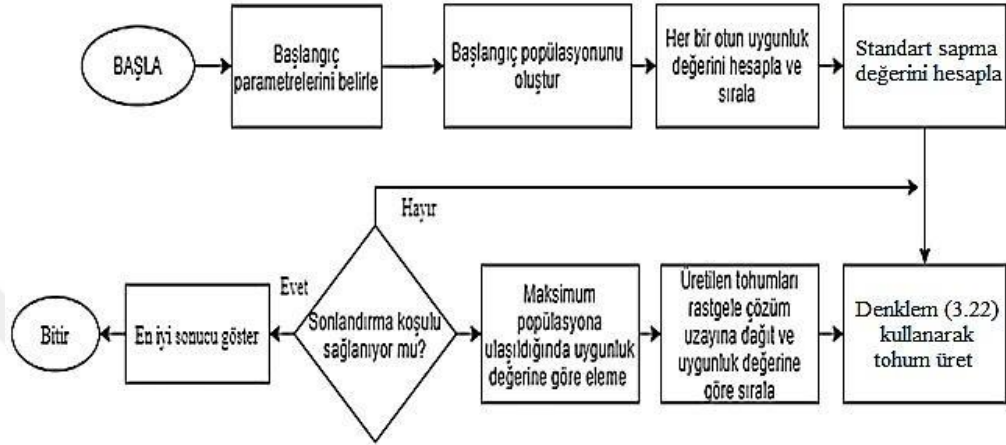
Burada $S_{\max}$, üretilen tohum sayısının maksimum değerini, $S_{\min}$ üretilen tohum sayısının minimum değerini, $U_{\text{en kötü}}$ en kötü amaç fonksiyonunu, $U_{\text{en iyi}}$ en iyi amaç fonksiyonunu ve U_i tohuma ait amaç fonksiyonunu belirtmektedir. Yeni üretilen tohumlar, üredikleri yabani otlara yakın olacak biçimde standart sapmaya bağlı olarak rastgele dağıtılmaktadır. Standart sapma Denklem 4.25 ile belirlenmektedir [121].

$$\sigma_{\text{iter}} = \frac{(\text{iter}_{\max} - \text{iter})^n}{(\text{iter}_{\max})^n} (\sigma_{\text{ilk}} - \sigma_{\text{son}}) + \sigma_{\text{son}} \quad (4.25)$$

Burada $\text{iter}_{\max}$, iterasyon sayısının maksimum değerini, σ_{iter} mevcut iterasyondaki standart sapmayı, k lineer olmayan modülasyon dizini temsil etmektedir. Popülasyondaki yabani otların maksimum sayılarını sınırlamak için rekabetçi elemenden yararlanılmaktadır. Tohumlar çözüm uzayındaki konumlarını belirledikten sonra aile üyeleri ile birlikte amaç fonksiyonun değerine bağlı olarak sıralanmaktadır. Popülasyonda daha az amaç fonksiyonuna sahip olan otlar

elenmektedir. Otların elenmesinin nedeni ise belirlenen maksimum popülasyonu elde etmektir. Böylece yabancı otlar ile yavrular sıralanarak daha iyi amaç fonksiyonuna sahip olanlar hayatta kalmaktadır. Hayatta kalanların üremelerine izin verilmektedir. Sonlandırma koşuluna kadar yeni üretilen tohumlarının da yavrularına rekabetçi eleme uygulanmaktadır [121].

Şekil 4.8’de IWO algoritması için akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.8. IWO için akış diyagramı

5. BULGULAR

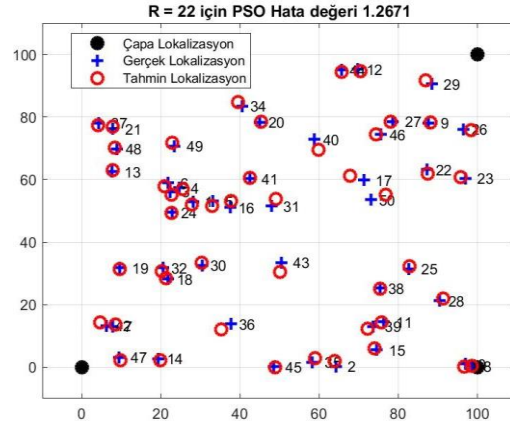
5.1. Birinci Senaryoda Elde Edilen Bulgular ve Hatalı Konumlandırılan Sensör D   mleri

Tez çalışmasında iki senaryo kullanılmıştır. Bu senaryolarda iki farklı sensör d    m dağılımı kullanılmış ve sensör düğümlerinin gerçek konumu tahmin edilmiştir. Birinci ve ikinci senaryoda 4 adet çapa düğüm ve 50 adet hedef düğüm kullanılmıştır.   apa düğümleri 100x100'l  k alanda köşelere yerleştirilmiştir. Referans d    mlerini ise belirlenen alana rastgele dağıtılmıştır. PSO, VSA ve ACO_R 50 adet hedef düğümlerin konumunu tespit etmek için kullanılmıştır. Algoritmalar aynı sensör d    m üzerinde çalıştırılmış ve her bir sensör d    m için R=22 birim alınmıştır.

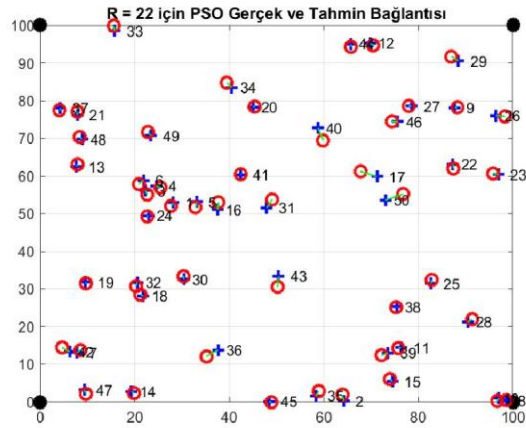
Her iki senaryoda popülasyon boyutu 20, iterasyon sayısı 100 alınmıştır. Şekilde mavi renkli artı (+) işaretler hedef düğümlerinin gerçek konumlarını ve kırmızı renkli yuvarlak işaretler ise PSO, VSA ve ACO_R algoritmalar ile edilen tahmini konumlarını göstermektedir. Sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmini konumu arasındaki hatayı göstermek için yeşil renkli çizgiler kullanılmıştır. Siyah renkli yuvarlak işaretler ise çapa d    m  n   ifade etmektedir. Ayrıca mavi renkli çizgiler ile hedef düğümlerinin komşuluk bağlantısı gösterilmiştir. Her bir algoritma için OH değerleri ve hatalı konumlandırılan sensör düğümleri belirtilmiştir.

5.1.1. PSO Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular

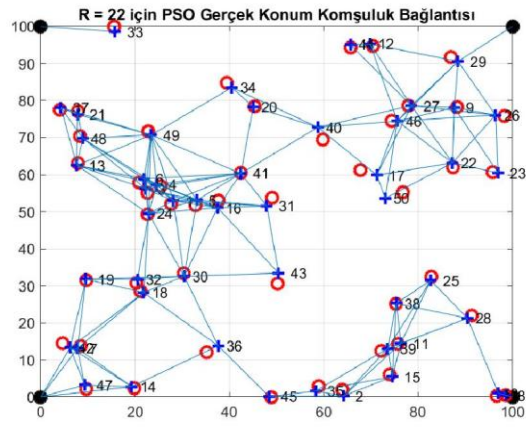
PSO algoritmasında kullanılan parametre değerleri   izelge 5.1'de gösterilmiştir. R=22 birim değer alınarak elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Stokastik optimizasyon algoritması olduğu için   izelge 5.2'de 20 iterasyon için hata değerleri ve OH değeri belirtilmiştir. Ayrıca hatalı konumlandırılan sensör düğümleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1. PSO algoritması için hata değeri



Şekil 5.2. PSO için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.3. PSO için gerçek konum komşuluk bağlantısı

PSO algoritmasında 17, 36, 40, 43 ve 50 numaralı düğümde hata oranı azdır.

Çizelge 5.1. PSO için parametre değerleri

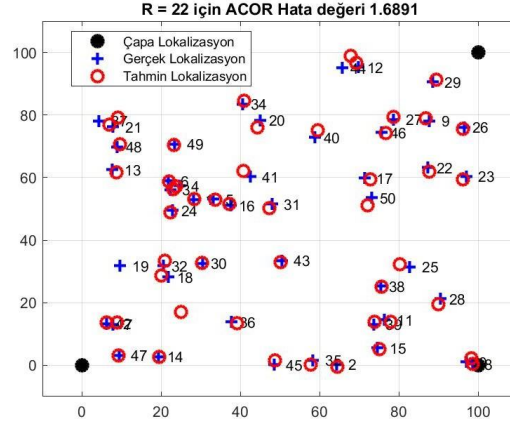
Parametreler	Değerleri
Ağırlık Katsayısı (w)	1
Ağırlık Katsayısı Sönümlleme Oranı (wdamp)	0.99
Bilişsel Öğrenme Faktörü (c_1)	1.5
Sosyal Öğrenme Faktörü (c_2)	2.0
Alt Limit	0
Üst Limit	100

Çizelge 5.2. PSO’da elde edilen hata değerleri

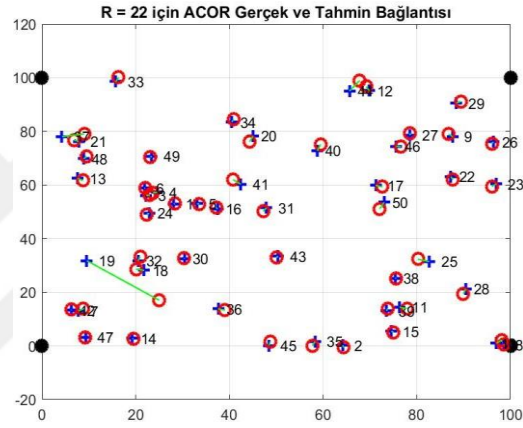
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,2671
Simülasyon 2	1,2214
Simülasyon 3	1,6462
Simülasyon 4	1,5783
Simülasyon 5	1,5061
Simülasyon 6	1,5547
Simülasyon 7	1,9272
Simülasyon 8	1,7964
Simülasyon 9	1,8548
Simülasyon 10	1,5013
Simülasyon 11	1,5216
Simülasyon 12	2,0558
Simülasyon 13	1,8275
Simülasyon 14	2,0547
Simülasyon 15	1,6993
Simülasyon 16	2,2072
Simülasyon 17	1,7768
Simülasyon 18	2,0178
Simülasyon 19	1,9201
Simülasyon 20	1,4411
Ortalama Hata	1,71877

5.1.2. ACO_R Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular

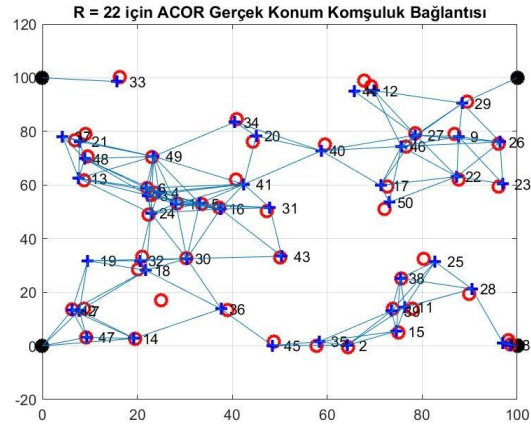
ACO_R algoritmasında kullanılan parametre değerleri Çizelge 5.3’te gösterilmiştir. ACO_R yönteminde R=22 değer alınarak elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Stokastik optimizasyon algoritması olduğu için Çizelge 5.4’te 20 simülasyona ait hata değerleri ve OH değeri belirtilmiştir. Hatalı konumlandırılan sensör düğümleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. ACO_R algoritması için hata değeri



Şekil 5.5. ACO_R için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.6. ACO_R için gerçek konum komşuluk bağlantısı

ACO_R algoritmasında 19 numaralı düğümdeki hatanın kaynağı flip belirsizliğidir. 44 numaralı düğüm ise 12 ve 27 numaralı düğüme komşudur. Komşuluk sayısı az miktarda olduğunda dolayı hata oluşmuştur.

Çizelge 5.3. ACO_R için parametre değerleri

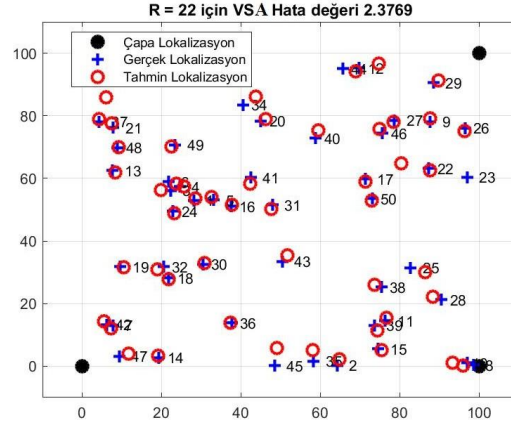
Parametreler	Değerleri
Sapma-Mesafe Oranı (E)	0.5
Standart Sapma (q)	1
Alt Limit	0
Üst Limit	100

Çizelge 5.4. ACO_R ’da elde edilen hata değerleri

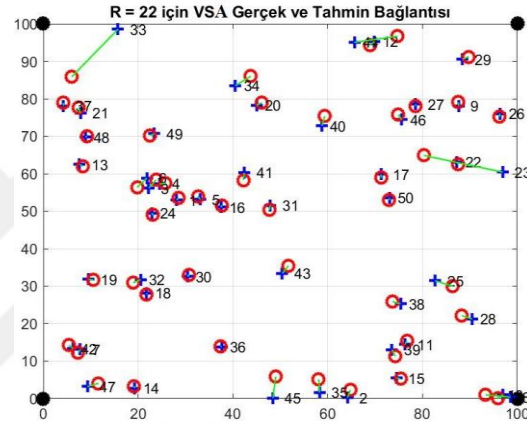
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,6891
Simülasyon 2	2,0144
Simülasyon 3	1,5842
Simülasyon 4	2,0168
Simülasyon 5	2,0749
Simülasyon 6	1,9924
Simülasyon 7	1,7094
Simülasyon 8	2,0608
Simülasyon 9	1,9086
Simülasyon 10	1,3692
Simülasyon 11	1,7603
Simülasyon 12	2,1988
Simülasyon 13	2,1356
Simülasyon 14	1,9954
Simülasyon 15	1,9291
Simülasyon 16	2,2982
Simülasyon 17	2,2577
Simülasyon 18	1,9880
Simülasyon 19	1,6359
Simülasyon 20	2,2639
Ortalama Hata	1,944135

5.1.3. VSA Yönteminde Kullanılan Parametreler ve Bulgular

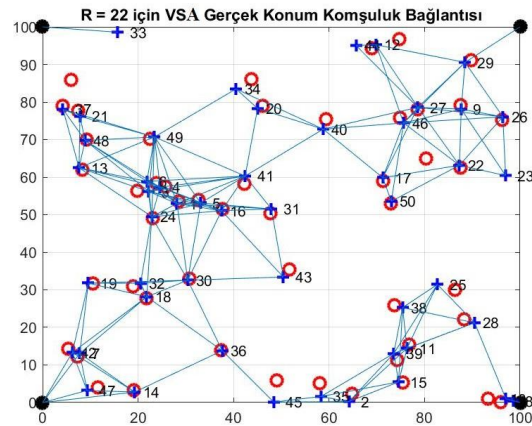
VSA algoritmasında kullanılan parametre değerleri Çizelge 5.5’te gösterilmiştir. VSA yönteminde $R=22$ değer alınarak elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Ayrıca sensör düğümlerinin tahmini konumlarında hata meydana gelmiş ve hata meydana gelen sensör düğümleri ifade edilmiştir. Stokastik optimizasyon algoritması olduğu için Çizelge 5.6’da 20 simülasyona ait hata değerleri ve OH belirtilmiştir.



Şekil 5.7. VSA algoritması için hata değeri



Şekil 5.8. VSA için gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.9. VSA için gerçek konum komşuluk bağlantısı

VSA algoritmasında 44 numaralı sensör düğümü 27 ve 12 ile 45 numaralı sensör düğümü 35 ve 36 ile 33 numaralı düğüm çapa düğümü ile 10 numaralı düğüm 28 ve 8 ile ve 8 numaralı sensör düğümü ise çapa ve 10 ile komşudur. Komşu sayısının az

olmasında dolayı hata meydana gelmiştir. 35 numaralı düğümde ise hata azdır. 23 numaralı düğümün hatalı konumlandırılma nedeni ise flip belirsizliğidir. 12 numaralı sensör düğümün 27, 29 ve 46 numaralı komşu sensör düğümleri aynı doğru üzerinde olduğu için tahmini konumu hatalı konumlandırılmıştır.

Çizelge 5.5. VSA için parametre değerleri

Parametreler	Değerleri
X	0.1
Şekil Parametresi (a_0)	1
Alt Limit	0
Üst Limit	100

Çizelge 5.6. VSA’da elde edilen hata değerleri

Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,3769
Simülasyon 2	2,4070
Simülasyon 3	2,0642
Simülasyon 4	1,9336
Simülasyon 5	2,7797
Simülasyon 6	1,7697
Simülasyon 7	1,4003
Simülasyon 8	2,1830
Simülasyon 9	2,8971
Simülasyon 10	2,6733
Simülasyon 11	2,6872
Simülasyon 12	1,9177
Simülasyon 13	1,9222
Simülasyon 14	2,0141
Simülasyon 15	2,1023
Simülasyon 16	1,5084
Simülasyon 17	1,7496
Simülasyon 18	2,1831
Simülasyon 19	2,5364
Simülasyon 20	1,9704
Ortalama Hata	2,15381

5.2. İkinci Senaryoda K-Bağılılık ile Elde Edilen Bulgular ve Hatalı Konumlandırılan Sensör Düğümleri

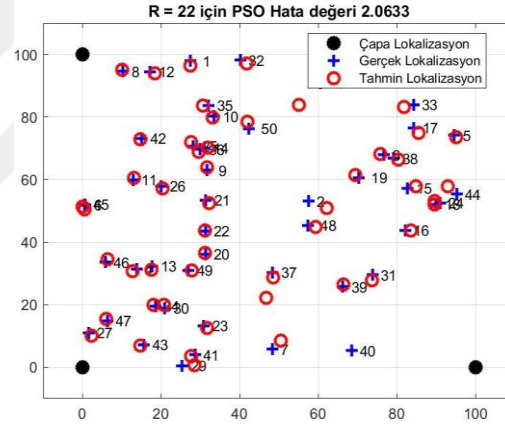
İkinci senaryoda ise birinci senaryodan farklı sensör düğüm dağılımı kullanılmış ayrıca diğer algoritmalara ek olarak IWO algoritması ele alınmıştır. Ancak aynı parametre değerleri kullanılmıştır. PSO, VSA, ACO_R ve IWO algoritmaları için aynı sensör düğüm dağılımı kullanılarak hedef düğümlerinin gerçek konumları tahmin

edilmiştir. Algoritmalarla mavi renkli + işaretler hedef düğümlerin konumlarını yani gerçek konumlarını, 50 adet kırmızı yuvarlak işaretler PSO, VSA, ACO_R ve IWO ile edilen tahmini konumlarını, yeşil çizgiler gerçek konum ile tahmini konum arasındaki bağlantıyı ve mavi renkli çizgiler sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmini konumu arasındaki bağlantıyı göstermiştir. Çalışmada R=22, R=24 için 3-bağlılık, R=25 için 4-bağlılık ve R=25 için 5-bağlılık için simülasyon sonuçları gösterilmiş ve hata değerleri hesaplanmıştır.

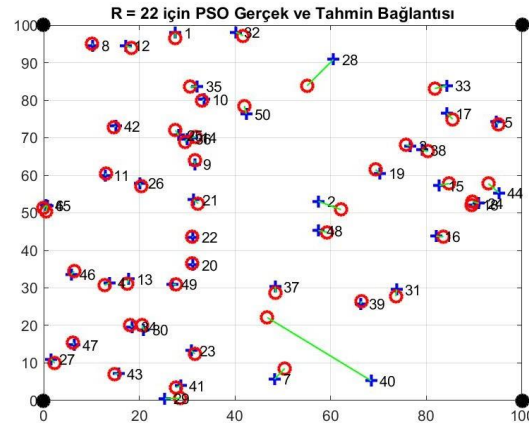
5.2.1. PSO ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları

5.2.1.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları

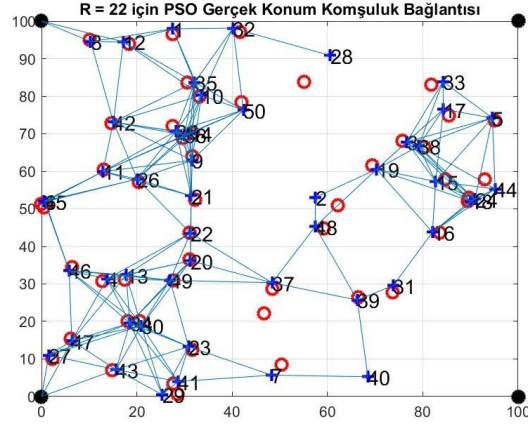
PSO yönteminin R=22 için simülasyon sonuçları Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de gösterilmiş ve 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değerleri Çizelge 5.7’de belirtilmiştir.



Şekil 5.10. PSO’nun R=22’deki hata değeri



Şekil 5.11. PSO’nun R=22’de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.12. PSO'nun R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı

PSO algoritmasının R=22 birimde sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmini konumu arasında hata meydana gelmiştir. 28 numaralı sensör düğümü sadece 32 numaralı sensör düğümü ile komşu olduğu için hatalı konumlandırılmıştır. 40 numaralı sensör düğümünde flip belirsizliği meydana geldiği için hataya neden olmuştur. 7 numaralı sensör düğümünün komşusu 40 olması hataya sebep olmuştur. 2 numaralı sensör düğümünün 48 ve 19 komşu sensör düğümleri 48, 19, 3 ve 37 numaralı komşu düğümleri ile aynı doğrunun üstünde olduğu için hata meydana gelmiştir.

Çizelge 5.7. R=22'de PSO'nun hata değerleri

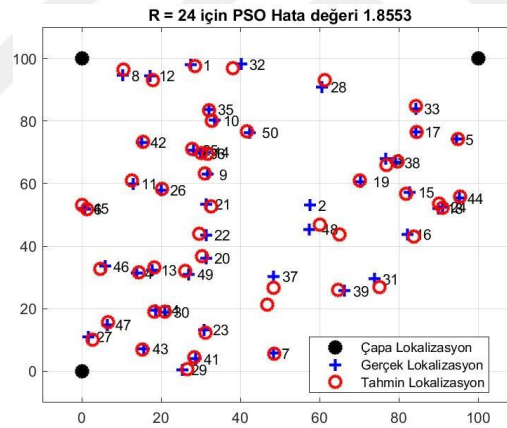
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,0633
Simülasyon 2	2,9307
Simülasyon 3	2,4942
Simülasyon 4	1,5473
Simülasyon 5	2,0808
Simülasyon 6	1,7203
Simülasyon 7	2,6335
Simülasyon 8	1,8798
Simülasyon 9	2,5898
Simülasyon 10	2,1292
Simülasyon 11	2,4403
Simülasyon 12	1,8960
Simülasyon 13	3,1904
Simülasyon 14	2,4261
Simülasyon 15	2,0836
Simülasyon 16	2,5320
Simülasyon 17	2,2471
Simülasyon 18	1,9164

Çizelge 5.7. R=22’de PSO’nun hata değerleri (devamı)

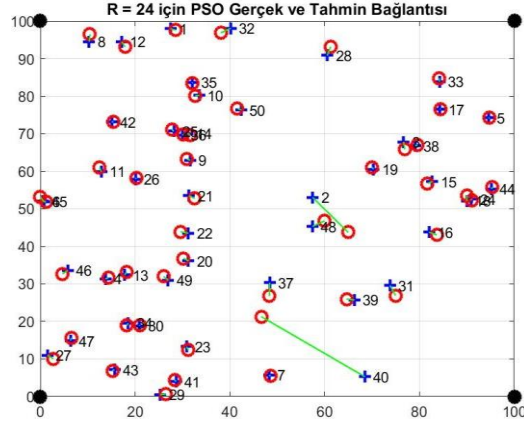
Simülasyon 19	2,7884
Simülasyon 20	1,9268
Simülasyon 21	1,5489
Simülasyon 22	2,8937
Simülasyon 23	1,6438
Simülasyon 24	2,1814
Simülasyon 25	2,3898
Simülasyon 26	1,9419
Simülasyon 27	2,7063
Simülasyon 28	1,7799
Simülasyon 29	2,5184
Simülasyon 30	1,8695
Ortalama Hata	2,2329867

5.2.1.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları

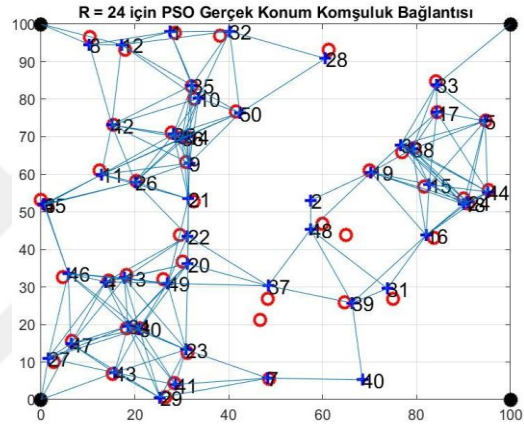
PSO yönteminin R=24 için 2-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15’te gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.8’de belirtilmiştir.



Şekil 5.13. PSO’nun R=24’teki hata değeri



Şekil 5.14. PSO'nun R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.15. PSO'nun R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

PSO'nun R=24'te, 40 ve 2 numaralı sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmini konumu arasında bazı nedenlerden dolayı hata meydana gelmiştir. 40 numaralı sensör düğümü flip belirsizliğinden dolayı ve 2 numaralı sensör düğümünün komşuları 48, 19, 3 ve 37 bir doğrunun üstünde olduğu için hataya sebep olmuştur.

Çizelge 5.8. R=24'te PSO'nun hata değerleri

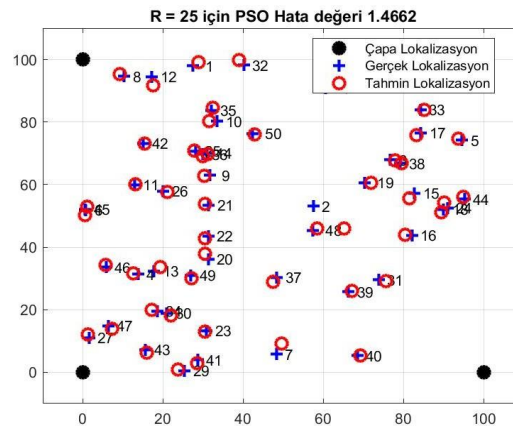
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,8553
Simülasyon 2	1,1012
Simülasyon 3	2,1239
Simülasyon 4	2,6294
Simülasyon 5	1,8166
Simülasyon 6	1,9880
Simülasyon 7	2,2376
Simülasyon 8	1,9573
Simülasyon 9	1,7424
Simülasyon 10	2,1324

Çizelge 5.8. R=24'te PSO'nun hata değerleri (devamı)

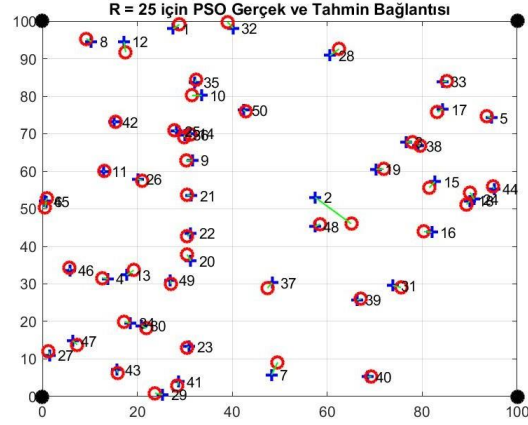
Simülasyon 11	1,8524
Simülasyon 12	1,9151
Simülasyon 13	1,3000
Simülasyon 14	1,1336
Simülasyon 15	2,0113
Simülasyon 16	2,1461
Simülasyon 17	1,9880
Simülasyon 18	2,7255
Simülasyon 19	1,7630
Simülasyon 20	2,1443
Simülasyon 21	2,5715
Simülasyon 22	1,3877
Simülasyon 23	1,3898
Simülasyon 24	1,1518
Simülasyon 25	1,8503
Simülasyon 26	1,1229
Simülasyon 27	2,4854
Simülasyon 28	2,8277
Simülasyon 29	2,2856
Simülasyon 30	2,4624
Ortalama Hata	1,9366167

5.2.1.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları

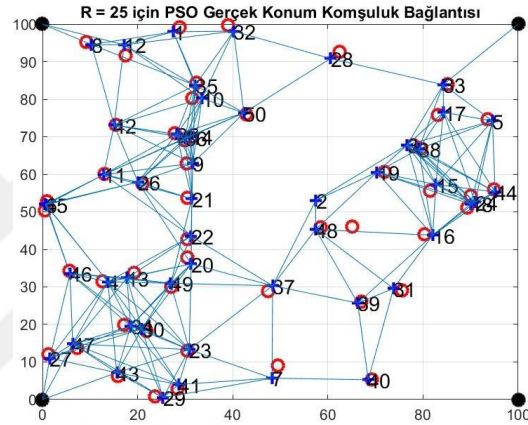
PSO yönteminin R=25 için 3-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'de gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.9'da belirtilmiştir.



Şekil 5.16. PSO'nun R=25'teki hata değeri



Şekil 5.17. PSO'nun R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.18. PSO'nun R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

R=25'te ise 2 numaralı sensör düğümünün komşuları 37, 48, 19 ve 3 ile doğrusal olduğu için hatalı konumlandırılmıştır.

Çizelge 5.9. R=25'te PSO'nun hata değerleri

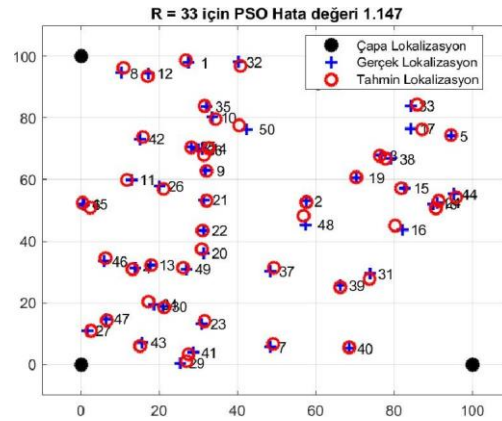
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,4662
Simülasyon 2	1,3624
Simülasyon 3	1,1308
Simülasyon 4	1,2841
Simülasyon 5	1,2777
Simülasyon 6	1,3131
Simülasyon 7	1,1324
Simülasyon 8	1,2040
Simülasyon 9	1,1806
Simülasyon 10	1,1903
Simülasyon 11	1,7695
Simülasyon 12	1,0789
Simülasyon 13	1,7461
Simülasyon 14	1,7241

Çizelge 5.9. R=25'te PSO'nun hata değerleri (devamı)

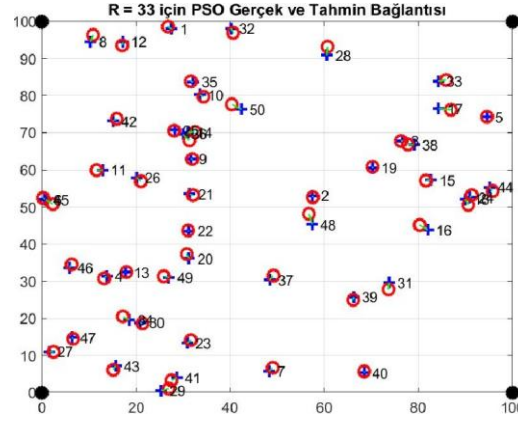
Simülasyon 15	1,0899
Simülasyon 16	1,9441
Simülasyon 17	1,3159
Simülasyon 18	2,0833
Simülasyon 19	1,1088
Simülasyon 20	1,7860
Simülasyon 21	1,3431
Simülasyon 22	1,3824
Simülasyon 23	1,7845
Simülasyon 24	1,0546
Simülasyon 25	1,3467
Simülasyon 26	1,2111
Simülasyon 27	1,4520
Simülasyon 28	1,2721
Simülasyon 29	1,4135
Simülasyon 30	1,8775
Ortalama Hata	1,4108567

5.2.1.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları

PSO yönteminin R=33 için 4-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21'de gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.10'da belirtilmiştir.

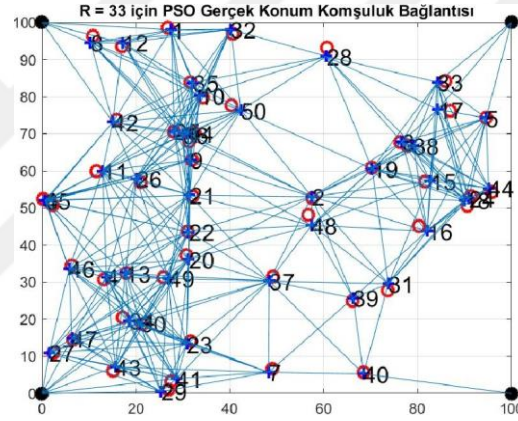


Şekil 5.19. PSO'nun R=33'teki hata değeri



Şekil 5.20. PSO'nun R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata

Sensör düğümlerinin tahmini konumlarında meydana gelen hatalar R=33 birimde düzeldiği gösterilmiştir.



Şekil 5.21. PSO'nun R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

Çizelge 5.10. R=33'te PSO'nun hata değerleri

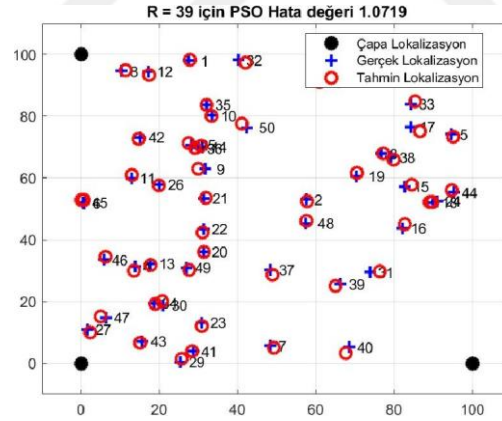
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,1470
Simülasyon 2	1,1024
Simülasyon 3	1,0640
Simülasyon 4	0,96362
Simülasyon 5	1,3424
Simülasyon 6	1,2702
Simülasyon 7	1,3042
Simülasyon 8	1,2897
Simülasyon 9	0,98615
Simülasyon 10	1,3426
Simülasyon 11	1,1429
Simülasyon 12	0,98821
Simülasyon 13	1,1394
Simülasyon 14	1,0933
Simülasyon 15	1,3001

Çizelge 5.10. R=33'te PSO'nun hata değerleri (devamı)

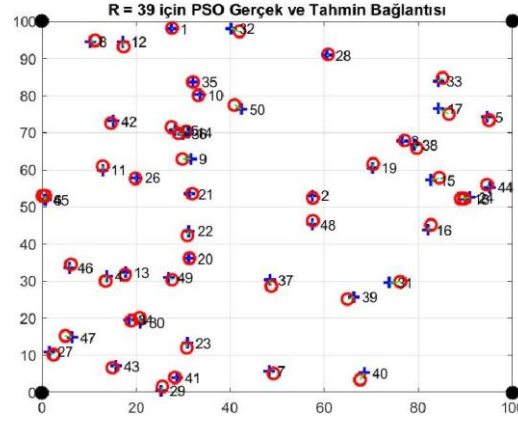
Simülasyon 16	1,2467
Simülasyon 17	1,1512
Simülasyon 18	1,0864
Simülasyon 19	1,2304
Simülasyon 20	1,0016
Simülasyon 21	1,3877
Simülasyon 22	1,0316
Simülasyon 23	1,0980
Simülasyon 24	1,0667
Simülasyon 25	0,98483
Simülasyon 26	1,1777
Simülasyon 27	1,1181
Simülasyon 28	1,0743
Simülasyon 29	1,2432
Simülasyon 30	1,1536
Ortalama Hata	1,1509403

5.2.1.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları

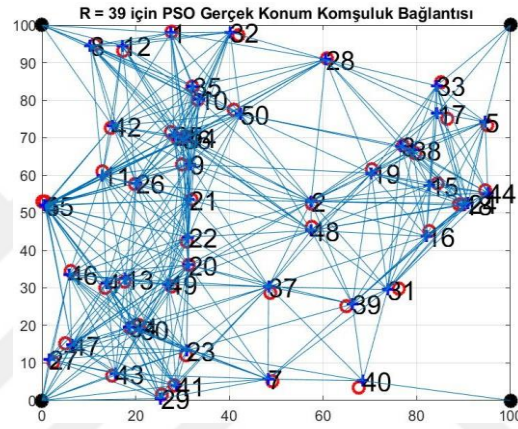
PSO yönteminin R=39 için 5-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'te gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.11'de belirtilmiştir.



Şekil 5.22. PSO'nun R=39'daki hata değeri



Şekil 5.23. PSO'nun R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.24. PSO'nun R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı

PSO'nun R=39 birimde sensör düğümlerinin tahmini konumlarında meydana gelen hatalar düzelmiştir.

Çizelge 5.11. R=39'da PSO'nun hata değerleri

Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,0719
Simülasyon 2	1,1143
Simülasyon 3	1,0521
Simülasyon 4	1,1428
Simülasyon 5	1,1073
Simülasyon 6	1,2216
Simülasyon 7	1,0065
Simülasyon 8	1,1365
Simülasyon 9	1,1362
Simülasyon 10	1,1976
Simülasyon 11	1,1145
Simülasyon 12	1,0109
Simülasyon 13	1,1885
Simülasyon 14	1,1484

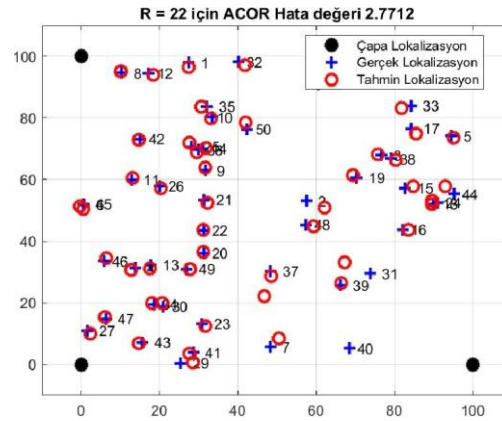
Çizelge 5.11. R=39’da PSO’nun hata değerleri (devamı)

Simülasyon 15	1,1628
Simülasyon 16	1,1625
Simülasyon 17	1,2646
Simülasyon 18	1,2243
Simülasyon 19	1,0560
Simülasyon 20	1,0518
Simülasyon 21	1,1873
Simülasyon 22	1,2706
Simülasyon 23	1,3664
Simülasyon 24	1,1887
Simülasyon 25	1,0522
Simülasyon 26	1,0486
Simülasyon 27	1,2334
Simülasyon 28	1,2210
Simülasyon 29	1,0332
Simülasyon 30	1,2241
Ortalama Hata	1,146553

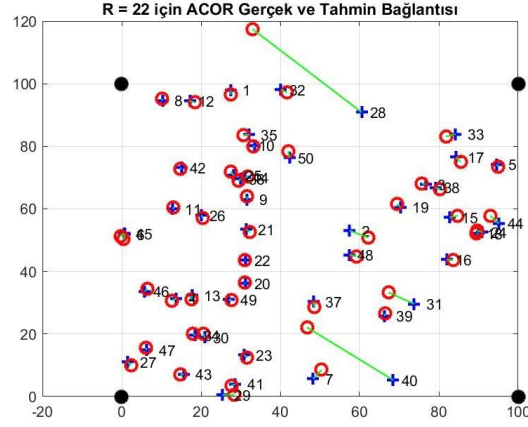
5.2.2. ACO_R ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları

5.2.2.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları

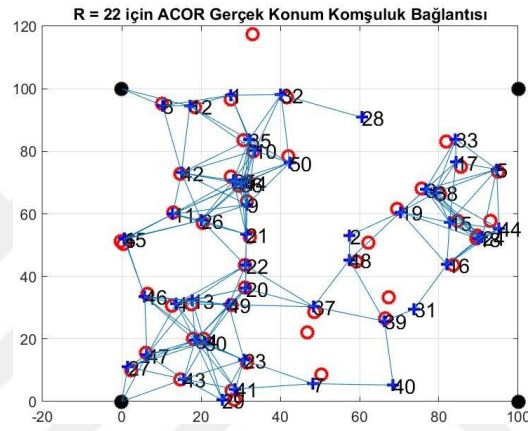
ACO_R yönteminin R=22 için simülasyon sonuçları Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27’de gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.12’de belirtilmiştir.



Şekil 5.25. ACO_R’nun R=22’deki hata değeri



Şekil 5.26. ACO_R'nun R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.27. ACO_R'nun R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı

ACO_R'da R=22 birim alınarak elde edilen simülasyon sonuçlarına bakıldığında bazı sensör düğümlerin gerçek konumunun tahmininde hata meydana gelmiştir. 2 numaralı sensör düğümünün komşuları 3, 19, 37 ve 48 sensör düğümleri ile aynı doğru üzerinde olduğu için hata meydana gelmiştir. 40 ve 31 sensör düğümleri flip belirsizliğinden dolayı hatalı konumlandırılmıştır. 28 numaralı sensör düğümü ise sadece 32 numaralı sensör düğümü ile komşu olduğu için hatalı konumlandırılmıştır.

Çizelge 5.12. R=22'de ACO_R'nun hata değerleri

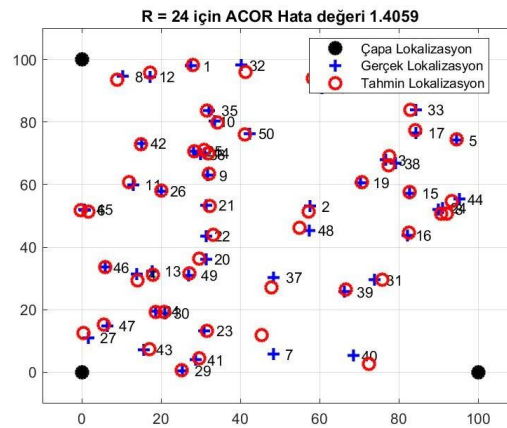
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,7712
Simülasyon 2	1,4286
Simülasyon 3	1,9199
Simülasyon 4	2,5035
Simülasyon 5	2,5503
Simülasyon 6	1,8212
Simülasyon 7	2,7035
Simülasyon 8	2,0703

Çizelge 5.12. R=22’de ACO_R ’nun hata değerleri (devamı)

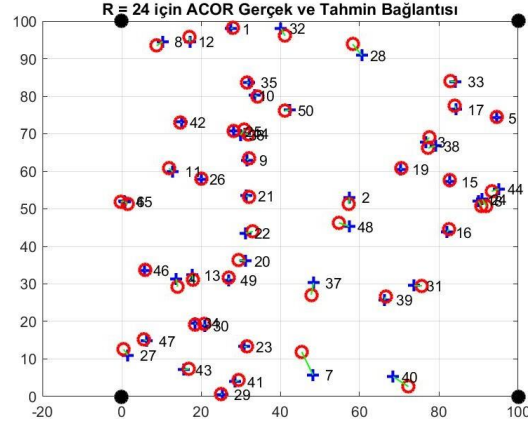
Simülasyon 9	1,5325
Simülasyon 10	2,1426
Simülasyon 11	2,5234
Simülasyon 12	1,6045
Simülasyon 13	1,9560
Simülasyon 14	2,3430
Simülasyon 15	2,5824
Simülasyon 16	2,4904
Simülasyon 17	2,1727
Simülasyon 18	2,4282
Simülasyon 19	1,3372
Simülasyon 20	2,2710
Simülasyon 21	2,8711
Simülasyon 22	2,5861
Simülasyon 23	2,1106
Simülasyon 24	1,9767
Simülasyon 25	2,2253
Simülasyon 26	2,8853
Simülasyon 27	1,7533
Simülasyon 28	2,5995
Simülasyon 29	2,2727
Simülasyon 30	2,6704
Ortalama Hata	2,23678

5.2.2.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları

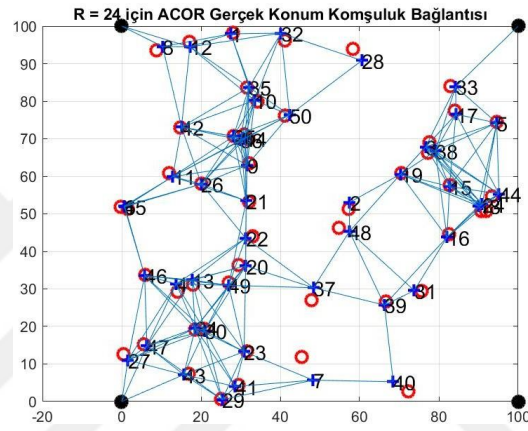
ACO_R yönteminin R=24 için 2-bağılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.28, 5.29 ve 5.30’da gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.13’te belirtilmiştir.



Şekil 5.28. ACO_R ’nun R=24’teki hata değeri



Şekil 5.29. ACO_R 'nin $R=24$ 'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.30. ACO_R 'nin $R=24$ 'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

$R=24$ birimde ise 7 numaralı sensör düğümü, 40 numaralı sensör düğümü ile komşu olduğu için hata meydana gelmiştir. Çünkü 40 numaralı sensör düğümünde flip belirsizliği meydana gelmiştir.

Çizelge 5.13. $R=24$ 'te ACO_R 'nin hata değerleri

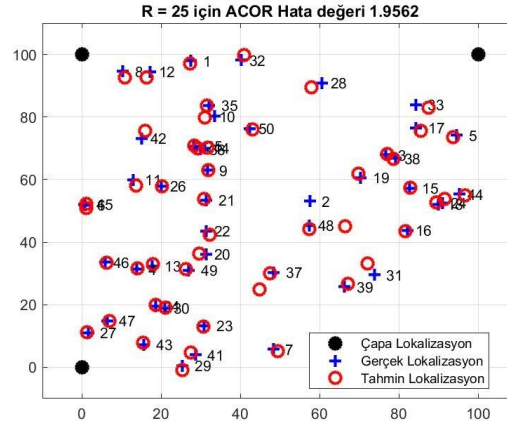
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,4059
Simülasyon 2	1,7901
Simülasyon 3	2,4740
Simülasyon 4	2,4884
Simülasyon 5	2,6220
Simülasyon 6	1,9208
Simülasyon 7	2,7572
Simülasyon 8	2,0806
Simülasyon 9	1,9743
Simülasyon 10	1,6719
Simülasyon 11	2,5521

Çizelge 5.13. R=24'te ACO_R 'nun hata değerleri (devamı)

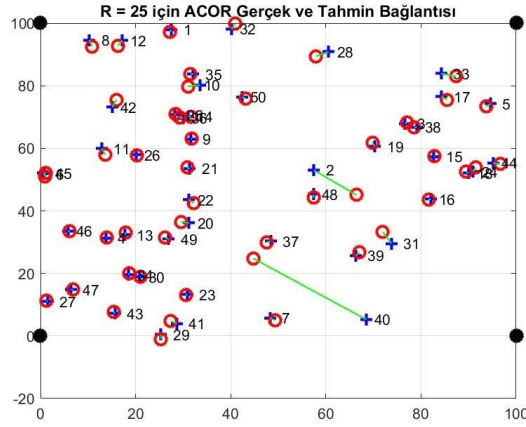
Simülasyon 12	2,7207
Simülasyon 13	1,2652
Simülasyon 14	1,9174
Simülasyon 15	2,8394
Simülasyon 16	2,7083
Simülasyon 17	1,3439
Simülasyon 18	2,0737
Simülasyon 19	1,4829
Simülasyon 20	2,6314
Simülasyon 21	2,3795
Simülasyon 22	1,9062
Simülasyon 23	1,8063
Simülasyon 24	1,9467
Simülasyon 25	1,7089
Simülasyon 26	1,8894
Simülasyon 27	1,8096
Simülasyon 28	2,5821
Simülasyon 29	2,7573
Simülasyon 30	2,8105
Ortalama Hata	2,14389

5.2.2.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları

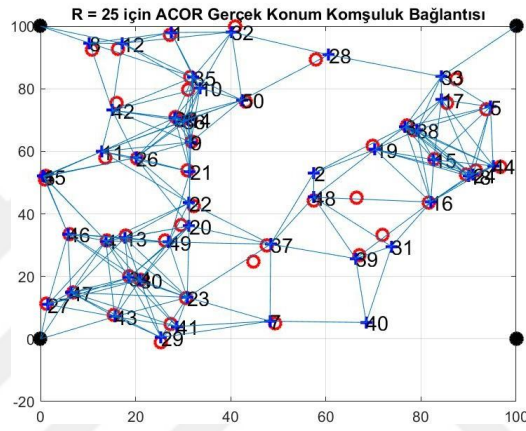
ACO_R yönteminin R=25 için 3-bağılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.31, 5.32 ve 5.33'te gösterilmiştir. Ayrıca 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.14'te belirtilmiştir.



Şekil 5.31. ACO_R 'nun R=25'teki hata değeri



Şekil 5.32. ACO_R 'nin $R=25$ 'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.33. ACO_R 'nin $R=25$ 'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

$R=25$ 'te ise 2 numaralı sensör düğümün komşuları 3, 19, 37 ve 48 numaralı sensör düğümleri ile doğrusal ve 40 numaralı sensör düğümünde ise flip belirsizliği meydana geldiği için hata meydana gelmiştir. 31 numaralı düğümün komşularından biri 40 numaralı olduğu için hatalı konumlandırılmıştır.

Çizelge 5.14. $R=25$ 'te ACO_R 'nin hata değerleri

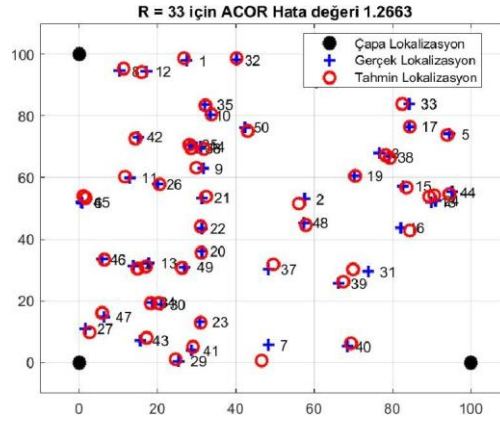
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,9562
Simülasyon 2	1,6130
Simülasyon 3	1,2807
Simülasyon 4	1,7246
Simülasyon 5	1,3011
Simülasyon 6	1,1557
Simülasyon 7	1,5278
Simülasyon 8	1,3387
Simülasyon 9	1,2775
Simülasyon 10	1,8623
Simülasyon 11	1,8922

Çizelge 5.14. R=25'te ACO_R 'nun hata değerleri (devamı)

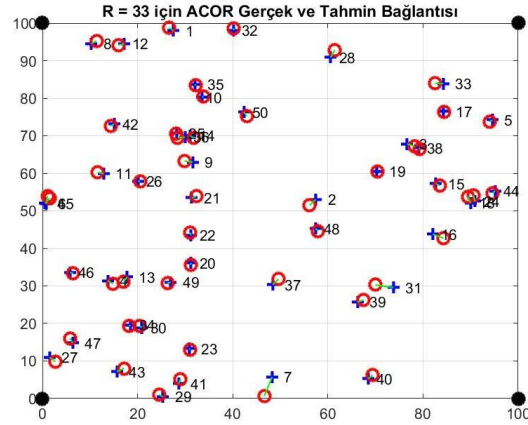
Simülasyon 12	1,8684
Simülasyon 13	1,2828
Simülasyon 14	1,3898
Simülasyon 15	1,8722
Simülasyon 16	1,8334
Simülasyon 17	2,0948
Simülasyon 18	1,1512
Simülasyon 19	1,9147
Simülasyon 20	1,4049
Simülasyon 21	1,1982
Simülasyon 22	1,2109
Simülasyon 23	2,0251
Simülasyon 24	1,2195
Simülasyon 25	1,9090
Simülasyon 26	1,8293
Simülasyon 27	1,0093
Simülasyon 28	1,0667
Simülasyon 29	1,1810
Simülasyon 30	1,7971
Ortalama Hata	1,539603

5.2.2.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları

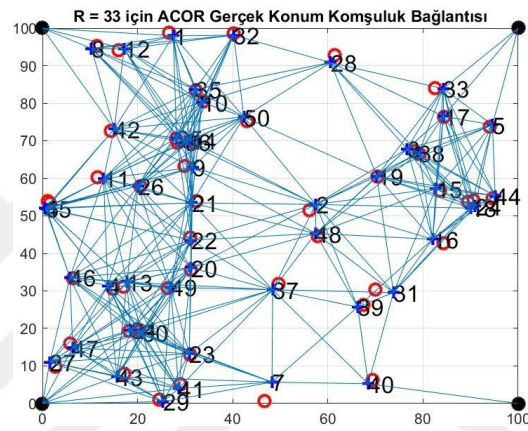
ACO_R yönteminin R=33 için 4-bağılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36'da gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.15'te belirtilmiştir.



Şekil 5.34. ACO_R 'nun R=33'teki hata değeri



Şekil 5.35. ACO_R 'nin $R=33$ 'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.36. ACO_R 'nin $R=33$ 'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

$R=33$ 'te ACO_R algoritmasında 7 numaralı sensör düğümlerinin komşuları 29, 37, 41 ve 48 ile ayrıca 31 numaralı sensör düğümünün komşuları ise 7, 16 ve 39 doğrusal olduğu için konumları hatalı tahmin edilmiştir.

Çizelge 5.15. $R=33$ 'te ACO_R 'nin hata değerleri

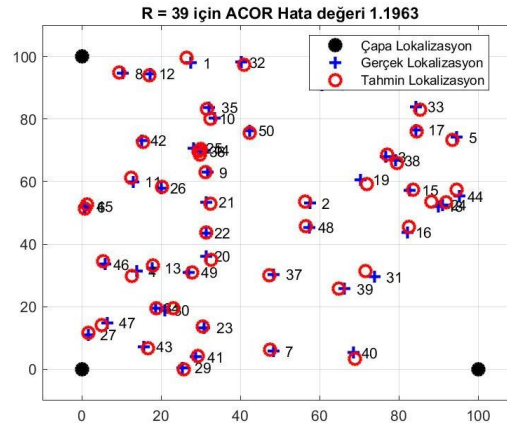
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,2663
Simülasyon 2	1,1157
Simülasyon 3	1,2039
Simülasyon 4	1,0868
Simülasyon 5	1,2352
Simülasyon 6	1,1161
Simülasyon 7	1,3199
Simülasyon 8	0,96335
Simülasyon 9	1,1529
Simülasyon 10	1,1963
Simülasyon 11	1,0576
Simülasyon 12	1,1964

Çizelge 5.15. R=33'te ACO_R 'nın hata değerleri (devamı)

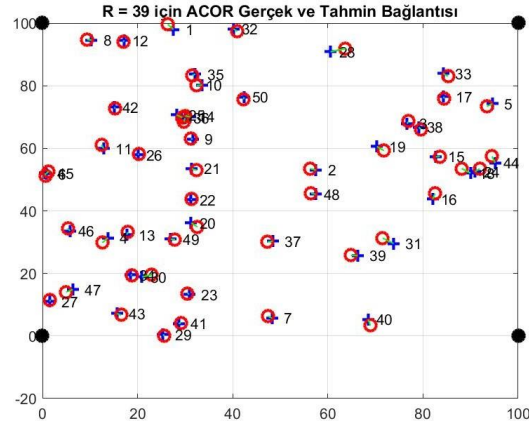
Simülasyon 13	1,3671
Simülasyon 14	1,0776
Simülasyon 15	1,2154
Simülasyon 16	1,2594
Simülasyon 17	0,89201
Simülasyon 18	1,4164
Simülasyon 19	1,0694
Simülasyon 20	1,0752
Simülasyon 21	1,0937
Simülasyon 22	1,3532
Simülasyon 23	1,0243
Simülasyon 24	1,2829
Simülasyon 25	1,1650
Simülasyon 26	1,1161
Simülasyon 27	1,2340
Simülasyon 28	1,1944
Simülasyon 29	1,1027
Simülasyon 30	1,1809
Ortalama Hata	1,167672

5.2.2.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları

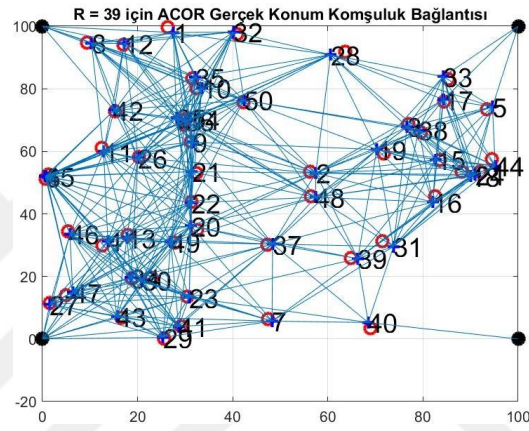
ACO_R yönteminin R=39 için 4-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.37, 5.38 ve 5.39'da gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.16'da belirtilmiştir.



Şekil 5.37. ACO_R 'nin R=39'daki hata değeri



Şekil 5.38. ACO_R'nun R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.39. ACO_R'nun R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı

R=39 birimde ise sensör düğümlerinin tahmini konumlandırılmasında meydana gelen hata düzelmiştir.

Çizelge 5.16. R=39'da ACO_R'nun hata değerleri

Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,1963
Simülasyon 2	1,1831
Simülasyon 3	1,0958
Simülasyon 4	1,3779
Simülasyon 5	1,0691
Simülasyon 6	1,3103
Simülasyon 7	1,0078
Simülasyon 8	1,0656
Simülasyon 9	1,0633
Simülasyon 10	1,1890
Simülasyon 11	1,2191
Simülasyon 12	1,2526
Simülasyon 13	1,1867
Simülasyon 14	1,2591

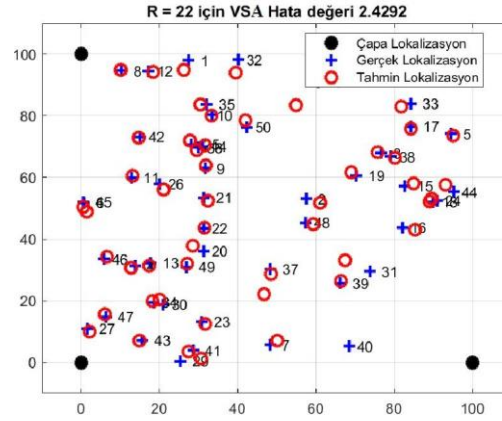
Çizelge 5.16. R=39’da ACO_R ’nun hata değerleri (devamı)

Simülasyon 15	1,1102
Simülasyon 16	1,1298
Simülasyon 17	1,1047
Simülasyon 18	1,2708
Simülasyon 19	1,1685
Simülasyon 20	1,2568
Simülasyon 21	1,1591
Simülasyon 22	1,2783
Simülasyon 23	1,1509
Simülasyon 24	1,1730
Simülasyon 25	1,0411
Simülasyon 26	1,0139
Simülasyon 27	1,1359
Simülasyon 28	1,1329
Simülasyon 29	1,0219
Simülasyon 30	1,1682
Ortalama	1,159723

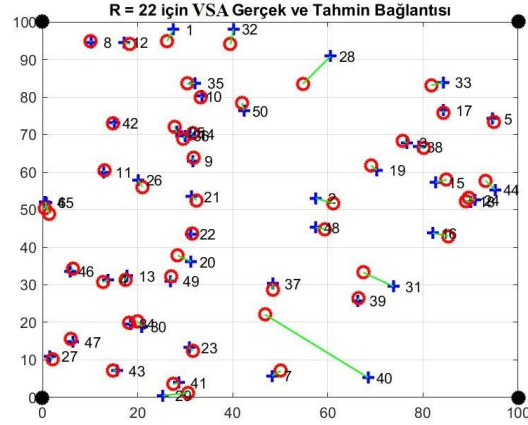
5.2.3. VSA ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları

5.2.3.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları

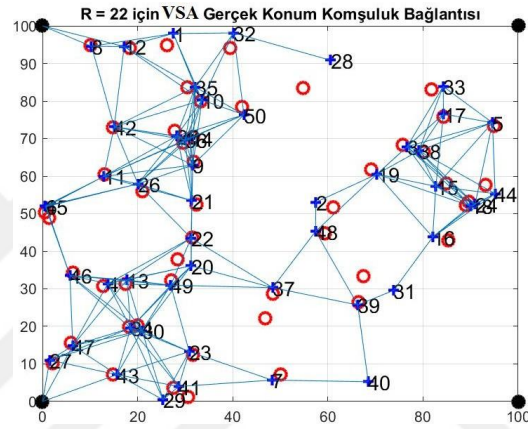
VSA yönteminin R=22 için simülasyon sonuçları Şekil 5.40, 5.41 ve 5.42’de gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.17’de belirtilmiştir.



Şekil 5.40. VSA’nın R=22’deki hata değeri



Şekil 5.41. VSA'nın R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.42. VSA'nın R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı

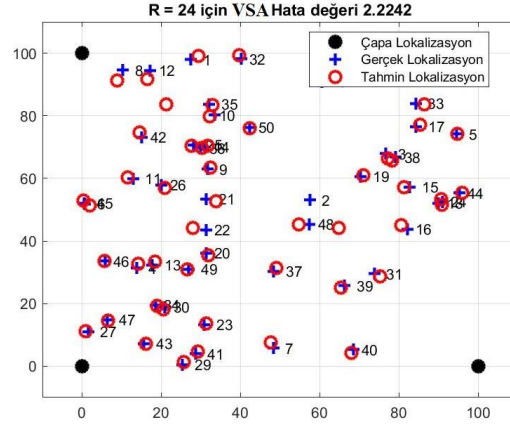
VSA algoritmasında R=22 birim için 1, 2, 20, 28, 29, 31, 32, 40 ve 44 numaralı sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmini konumu arasındaki bağlantıda hata oluşmuştur. 31 ve 40 numaralı sensör düğümlerinde flip belirsizliğinden kaynaklı hata meydana gelmiştir. 28 sensör düğümü sadece 32 ile komşudur. Komşu sayısı yeterli olmadığı için tahmini konumu hatalı konumlandırılmıştır. 2 numaralı sensör düğümünün komşuları 3, 19, 37 ve 48 ile aynı doğru üzerinde olması hatalı konumlandırılmasına neden olmuştur. 7'nin komşusu 40 numaralı sensör düğümünde flip belirsizliği meydana geldiği için hatalı konumlandırılmıştır. 29'da komşuları (0,0) koordinatlarına sahip çapa, 43 ve 23 doğrusal olduğu için hata meydana gelmiştir. Ancak 1, 20, 32 ve 44 numaralı sensör düğümünde meydana gelen hata çok azdır.

Çizelge 5.17. R=22’de VSA’nın hata değerleri

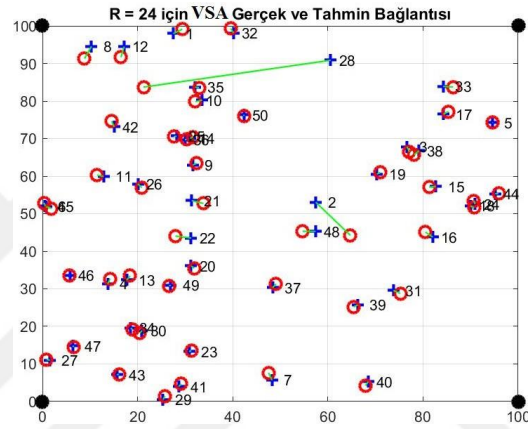
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,4292
Simülasyon 2	2,1407
Simülasyon 3	2,6463
Simülasyon 4	3,5222
Simülasyon 5	2,6595
Simülasyon 6	1,8678
Simülasyon 7	2,9384
Simülasyon 8	2,3302
Simülasyon 9	1,7078
Simülasyon 10	2,8149
Simülasyon 11	3,3511
Simülasyon 12	2,4688
Simülasyon 13	2,9775
Simülasyon 14	2,2477
Simülasyon 15	2,7773
Simülasyon 16	2,2387
Simülasyon 17	1,8716
Simülasyon 18	2,6636
Simülasyon 19	2,2181
Simülasyon 20	1,2110
Simülasyon 21	1,8273
Simülasyon 22	3,0138
Simülasyon 23	2,1782
Simülasyon 24	2,6324
Simülasyon 25	2,4598
Simülasyon 26	2,8143
Simülasyon 27	2,4332
Simülasyon 28	2,3752
Simülasyon 29	2,7454
Simülasyon 30	3,2990
Ortalama Hata	2,495367

5.2.3.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları

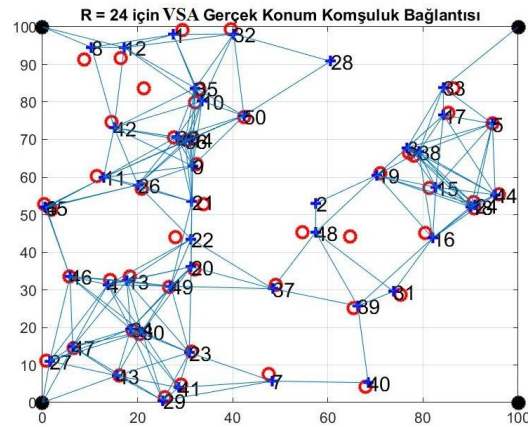
VSA yönteminin R=24 için 2-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.43, 5.44 ve 5.45’te gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.18’de belirtilmiştir.



Şekil 5.43. VSA'nın R=24'teki hata değeri



Şekil 5.44. VSA'nın R=24'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.45. VSA'nın R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

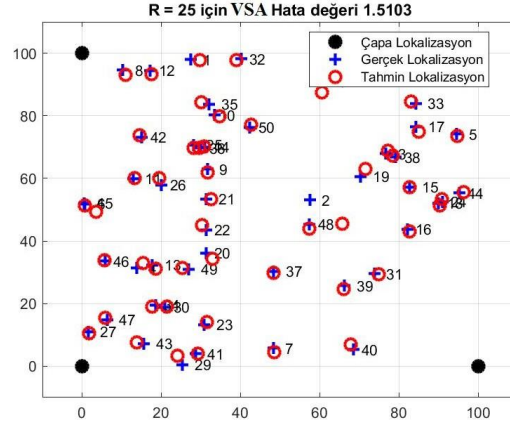
R=24'te ise 28 numaralı sensör düğümünün flip belirsizliğinden kaynaklı ve 2 numaralı düğümün ise komşuları 3, 19, 37 ve 48 ile doğrusal olduğu için gerçek konumu ile tahmini konumu arasında hata meydana gelmiştir.

Çizelge 5.18. R=24'te VSA'nın hata değerleri

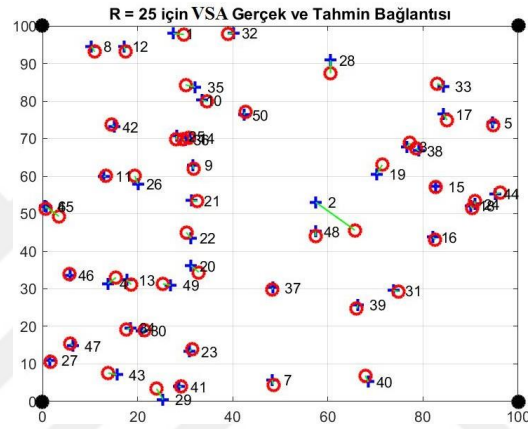
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,2242
Simülasyon 2	1,6808
Simülasyon 3	2,4783
Simülasyon 4	1,4668
Simülasyon 5	2,5599
Simülasyon 6	1,5845
Simülasyon 7	2,0023
Simülasyon 8	2,1298
Simülasyon 9	2,4715
Simülasyon 10	2,0690
Simülasyon 11	2,3441
Simülasyon 12	1,9303
Simülasyon 13	1,6191
Simülasyon 14	1,4156
Simülasyon 15	2,6432
Simülasyon 16	2,0952
Simülasyon 17	1,5881
Simülasyon 18	1,7035
Simülasyon 19	1,2799
Simülasyon 20	2,8934
Simülasyon 21	2,7838
Simülasyon 22	1,8851
Simülasyon 23	2,8979
Simülasyon 24	2,9035
Simülasyon 25	2,8717
Simülasyon 26	2,9054
Simülasyon 27	2,9281
Simülasyon 28	2,2390
Simülasyon 29	2,0374
Simülasyon 30	1,7172
Ortalama Hata	2,1782867

5.2.3.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları

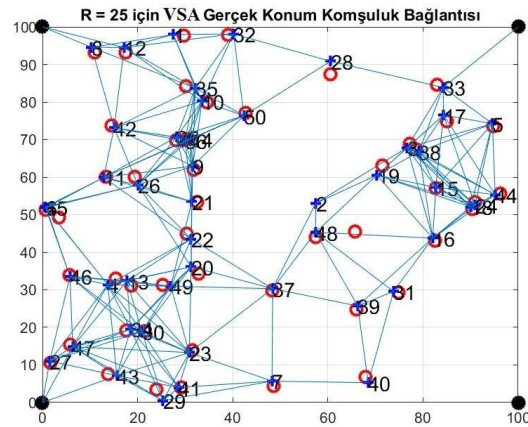
VSA yönteminin R=25 için 3-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.46, 5.47 ve 5.48'de gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.19'da belirtilmiştir.



Şekil 5.46. VSA'nın R=25'teki hata değeri



Şekil 5.47. VSA'nın R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.48. VSA'nın R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

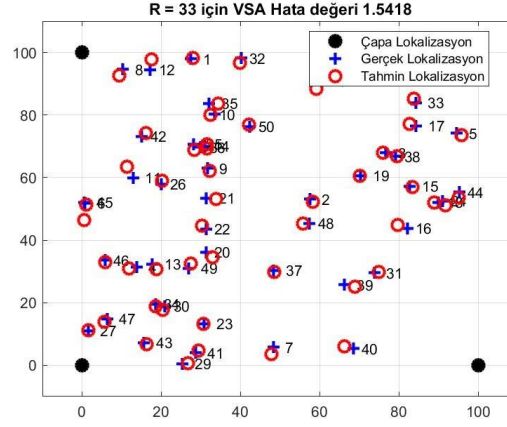
R=25'te ise 2 numaralı sensör düğümün komşuları 37, 48, 3 ve 19 ile aynı doğru üzerinde bulunduğu için gerçek konum ile tahmini konum arasındaki bağlantıda hata meydana gelmiştir.

Çizelge 5.19. R=25'te VSA'nın hata değerleri

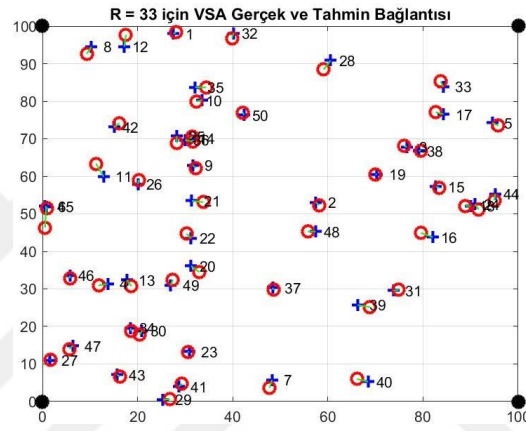
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,5103
Simülasyon 2	1,1819
Simülasyon 3	1,3478
Simülasyon 4	1,4979
Simülasyon 5	2,0537
Simülasyon 6	1,8510
Simülasyon 7	2,4578
Simülasyon 8	1,9633
Simülasyon 9	1,1887
Simülasyon 10	1,8536
Simülasyon 11	2,5040
Simülasyon 12	1,3731
Simülasyon 13	1,6155
Simülasyon 14	1,6059
Simülasyon 15	1,3635
Simülasyon 16	1,6214
Simülasyon 17	2,0316
Simülasyon 18	2,2127
Simülasyon 19	2,3295
Simülasyon 20	1,9951
Simülasyon 21	1,6738
Simülasyon 22	1,4123
Simülasyon 23	1,3746
Simülasyon 24	1,8147
Simülasyon 25	1,9330
Simülasyon 26	2,0153
Simülasyon 27	1,2594
Simülasyon 28	2,1103
Simülasyon 29	2,0758
Simülasyon 30	1,9957
Ortalama Hata	1,7741067

5.2.3.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları

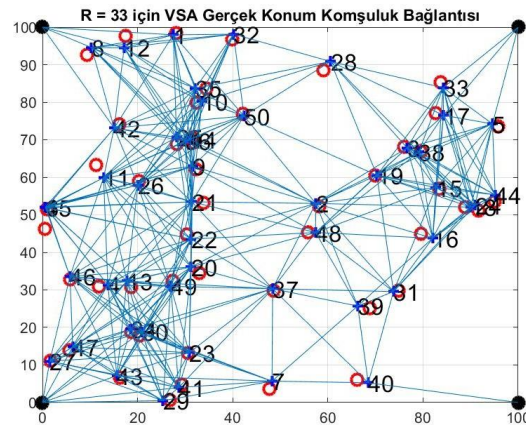
VSA yönteminin R=33 için 4-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.49, 5.50 ve 5.51'de gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.20'de belirtilmiştir.



Şekil 5.49. VSA'nın R=33'teki hata değeri



Şekil 5.50. VSA'nın R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.51. VSA'nın R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

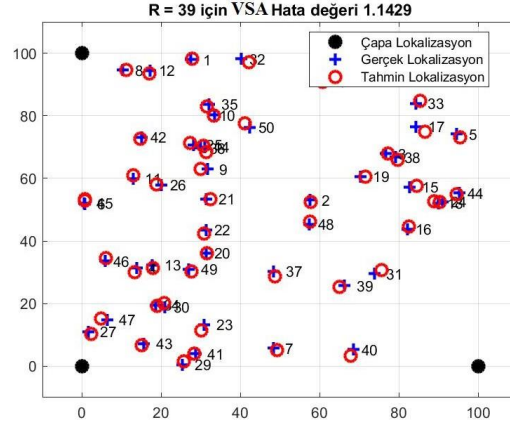
VSA'nın R=33 birimde sensör düğümlerinin gerçek konumu ile tahmin edilen konumu arasında meydana gelen hataların düzeldiği gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. R=33'te VSA'nın hata değerleri

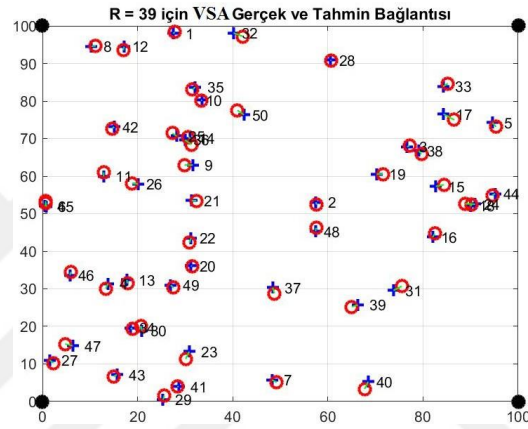
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,5418
Simülasyon 2	1,2333
Simülasyon 3	1,3079
Simülasyon 4	1,2748
Simülasyon 5	1,1748
Simülasyon 6	1,1882
Simülasyon 7	1,2220
Simülasyon 8	1,3402
Simülasyon 9	1,2530
Simülasyon 10	1,3842
Simülasyon 11	1,5924
Simülasyon 12	1,2561
Simülasyon 13	1,3822
Simülasyon 14	1,1692
Simülasyon 15	1,3130
Simülasyon 16	1,2293
Simülasyon 17	1,5955
Simülasyon 18	1,1405
Simülasyon 19	1,2004
Simülasyon 20	1,2766
Simülasyon 21	1,2805
Simülasyon 22	1,2388
Simülasyon 23	1,1903
Simülasyon 24	1,1126
Simülasyon 25	1,1698
Simülasyon 26	1,3587
Simülasyon 27	1,1206
Simülasyon 28	1,3316
Simülasyon 29	1,2406
Simülasyon 30	1,2173
Ortalama Hata	1,277873

5.2.3.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları

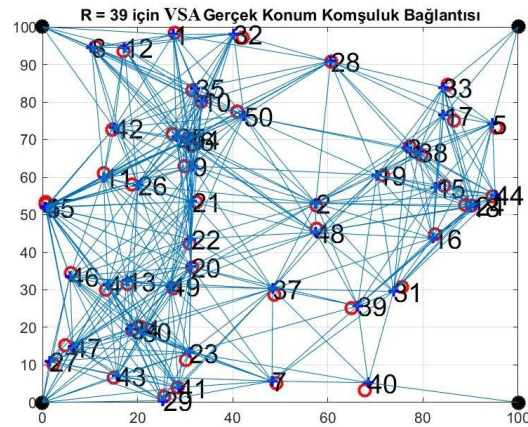
VSA yönteminin R=39 için 5-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.52, 5.53 ve 5.54'te gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.21'de belirtilmiştir.



Şekil 5.52. VSA'nın R=39'daki hata değeri



Şekil 5.53. VSA'nın R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.54. VSA'nın R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı

R=39 birimde ise sensör düğümlerinin konumları hatasız bir şekilde gerçek konumları tahmin edilmiştir.

Çizelge 5.21. R=39’da VSA’nın hata değerleri

Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,1429
Simülasyon 2	1,3194
Simülasyon 3	1,2430
Simülasyon 4	1,0961
Simülasyon 5	1,2035
Simülasyon 6	1,0523
Simülasyon 7	1,2633
Simülasyon 8	1,1719
Simülasyon 9	1,2047
Simülasyon 10	1,3416
Simülasyon 11	1,2061
Simülasyon 12	1,2374
Simülasyon 13	1,2388
Simülasyon 14	1,2811
Simülasyon 15	1,2608
Simülasyon 16	1,2018
Simülasyon 17	1,0387
Simülasyon 18	1,2832
Simülasyon 19	1,1596
Simülasyon 20	1,3483
Simülasyon 21	1,2593
Simülasyon 22	1,2405
Simülasyon 23	1,2146
Simülasyon 24	1,3921
Simülasyon 25	1,8676
Simülasyon 26	1,2298
Simülasyon 27	1,4050
Simülasyon 28	1,3552
Simülasyon 29	1,1615
Simülasyon 30	1,3699
Ortalama Hata	1,25967

5.2.4. IWO ile Elde Edilen Simülasyon Sonuçları

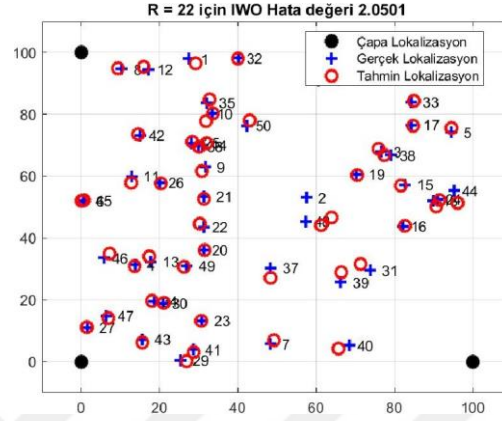
IWO algoritmasının parametre değerleri Çizelge 5.22’de verilmiştir.

5.2.4.1. R=22 için Simülasyon Sonuçları

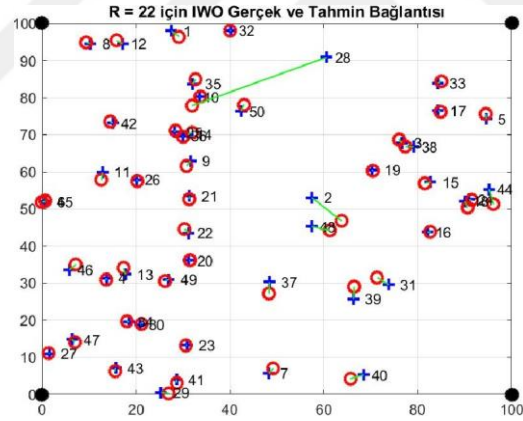
IWO yönteminin R=22 için simülasyon sonuçları Şekil 5.55, 5.56 ve 5.57’de gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.23’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.22. IWO için parametre değerleri

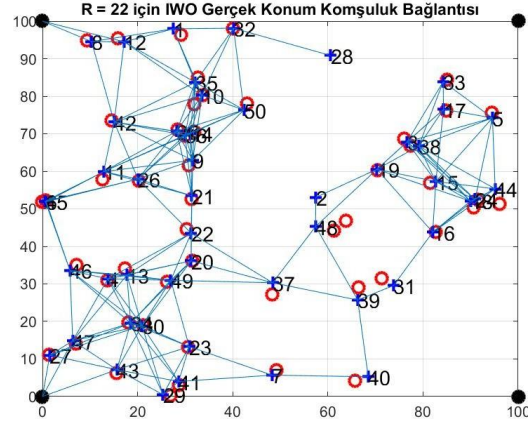
Parametreler	Değerleri
Minimum tohum sayısı ($S_{\min}$)	1
Maksimum tohum sayısı ($S_{\max}$)	5
Varyans azaltma üssü	3
Standart sapmanın başlangıç değeri	20
Standart sapmanın son değeri	0.2
Alt limit	0
Üst limit	100



Şekil 5.55. IWO'nun R=22'deki hata değeri



Şekil 5.56. IWO'nun R=22'de gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.57. IWO'nun R=22'de gerçek konumun komşuluk bağlantısı

IWO algoritması R=22 birimde 28 numaralı sensör düğümün bir tane komşusu bulunduğu için hatalı konumlandırılmıştır. 2 numaralı sensör düğümün komşuları 3, 19, 37 ve 48 ile aynı doğru üzerinde olduğu için hatalı konumlandırılmıştır. 40 ve 31'de ise flip belirsizliğinden dolayı hata meydana gelmiştir. Ancak 39 numaralı sensör düğümünde meydana gelen hata azdır.

Çizelge 5.23. R=22'de IWO'nun hata değerleri

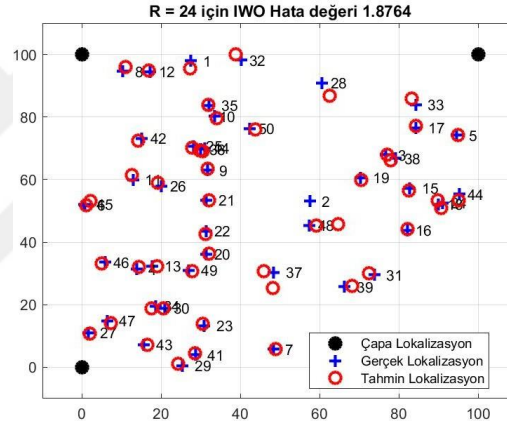
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	2,0501
Simülasyon 2	1,4629
Simülasyon 3	1,6770
Simülasyon 4	1,9646
Simülasyon 5	2,1499
Simülasyon 6	2,2719
Simülasyon 7	2,1553
Simülasyon 8	2,6750
Simülasyon 9	1,9633
Simülasyon 10	2,4099
Simülasyon 11	2,3243
Simülasyon 12	2,8631
Simülasyon 13	1,7172
Simülasyon 14	2,0030
Simülasyon 15	2,2660
Simülasyon 16	1,8581
Simülasyon 17	1,5293
Simülasyon 18	1,9710
Simülasyon 19	1,4914
Simülasyon 20	2,9504
Simülasyon 21	1,9621
Simülasyon 22	2,3524
Simülasyon 23	1,7378

Çizelge 5.23. R=22’de IWO’nun hata değerleri (devamı)

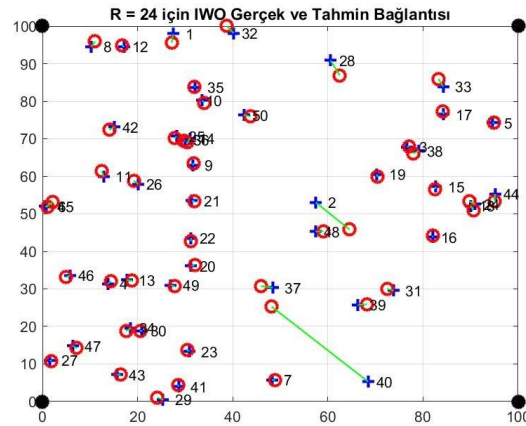
Simülasyon 24	2,7751
Simülasyon 25	2,7934
Simülasyon 26	2,3129
Simülasyon 27	2,0371
Simülasyon 28	2,4912
Simülasyon 29	2,8413
Simülasyon 30	1,5731
Ortalama Hata	2,1543367

5.2.4.2. R=24 için Simülasyon Sonuçları

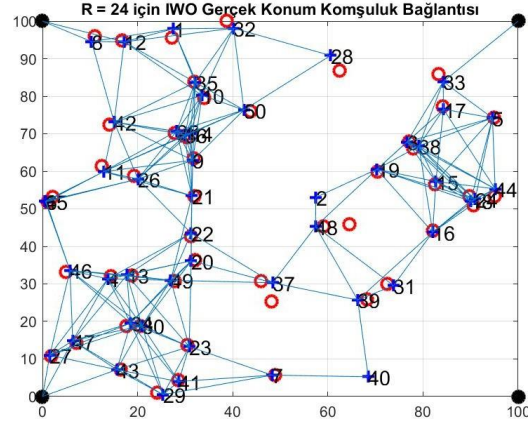
IWO yönteminin R=24 için 2-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.58, 5.59 ve 5.60’ta gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.24’te belirtilmiştir.



Şekil 5.58. IWO’nun R=24’teki hata değeri



Şekil 5.59. IWO’nun R=24’te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.60. IWO'nun R=24'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

R=24'te ise 2 numaralı sensör düğümün komşuları 3, 19, 37 ve 48 ile doğrusal ve 37'nin komşuları ise 9, 20, 21 ve 22 ile doğrusal olduğu için hatalı konumlandırılmıştır. 40 numaralı sensör düğümünde meydana gelen hatanın nedeni ise flip belirsizliğidir. 28 numaralı sensör düğümü 32 ve 50 ile komşudur. Komşu sayısı az olduğu için tahmini konumu hatalıdır.

Çizelge 5.24. R=24'te IWO'nun hata değerleri

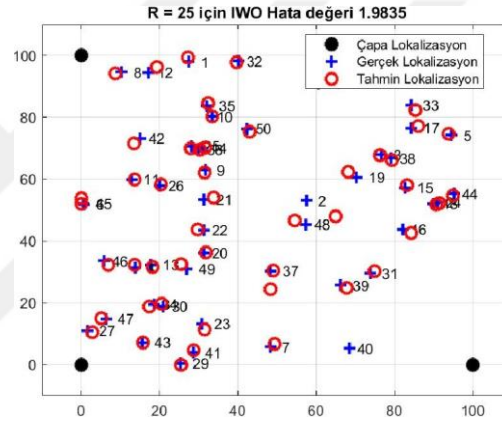
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,8764
Simülasyon 2	1,9673
Simülasyon 3	1,3866
Simülasyon 4	1,4038
Simülasyon 5	2,6044
Simülasyon 6	2,1757
Simülasyon 7	1,5198
Simülasyon 8	1,5755
Simülasyon 9	1,2321
Simülasyon 10	2,1360
Simülasyon 11	1,3489
Simülasyon 12	1,9836
Simülasyon 13	1,4043
Simülasyon 14	1,3344
Simülasyon 15	1,9180
Simülasyon 16	1,6939
Simülasyon 17	1,9923
Simülasyon 18	2,3161
Simülasyon 19	2,0534
Simülasyon 20	1,7515
Simülasyon 21	1,4563
Simülasyon 22	2,7651
Simülasyon 23	1,8511
Simülasyon 24	2,6184

Çizelge 5.24. R=24'te IWO'nun hata değerleri (devamı)

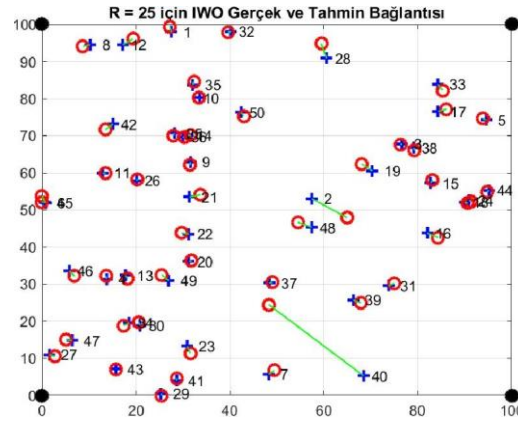
Simülasyon 25	1,8339
Simülasyon 26	2,6484
Simülasyon 27	2,1495
Simülasyon 28	2,6500
Simülasyon 29	2,0017
Simülasyon 30	1,5092
Ortalama Hata	1,905253

5.2.4.3. R=25 için Simülasyon Sonuçları

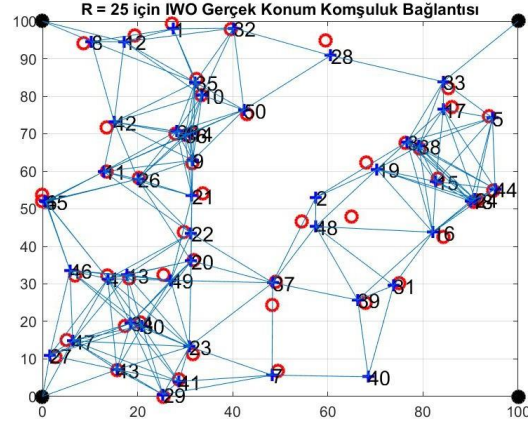
IWO yönteminin R=25 için 3-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.61, 5.62 ve 5.63'te gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.25'te belirtilmiştir.



Şekil 5.61. IWO'nun R=25'teki hata değeri



Şekil 5.62. IWO'nun R=25'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.63. IWO'nun R=25'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

R=25'te 2 numaralı sensör düğümünün komşuları 3, 19, 37 ve 48 ile ve 19 numaralı sensör düğümünün komşuları ise 2, 13 ve 17 doğrusal olduğu için gerçek konumları hatalı bir şekilde tahmin edilmiştir. 40 numaralı sensör düğümünde flip belirsizliği olduğu için hataya neden olmuştur.

Çizelge 5.25. R=25'te IWO'nun hata değerleri

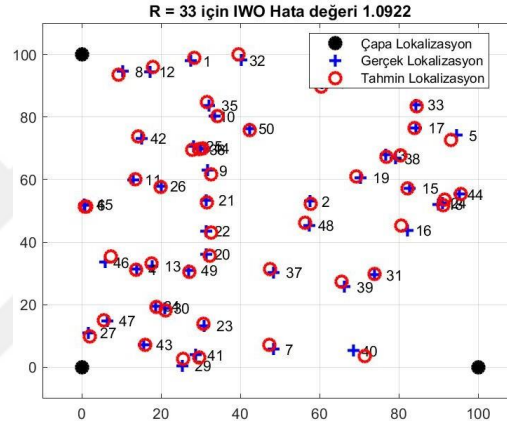
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,9835
Simülasyon 2	1,2598
Simülasyon 3	1,2822
Simülasyon 4	1,4806
Simülasyon 5	1,2118
Simülasyon 6	1,4304
Simülasyon 7	1,6666
Simülasyon 8	1,0975
Simülasyon 9	1,4259
Simülasyon 10	1,2807
Simülasyon 11	1,3244
Simülasyon 12	1,8654
Simülasyon 13	1,0651
Simülasyon 14	1,1688
Simülasyon 15	1,3219
Simülasyon 16	1,1007
Simülasyon 17	1,4457
Simülasyon 18	1,1799
Simülasyon 19	1,3049
Simülasyon 20	1,4410
Simülasyon 21	1,2333
Simülasyon 22	1,3067
Simülasyon 23	1,2726
Simülasyon 24	1,3621
Simülasyon 25	1,1482

Çizelge 5.25. R=25'te IWO'nun hata değerleri (devamı)

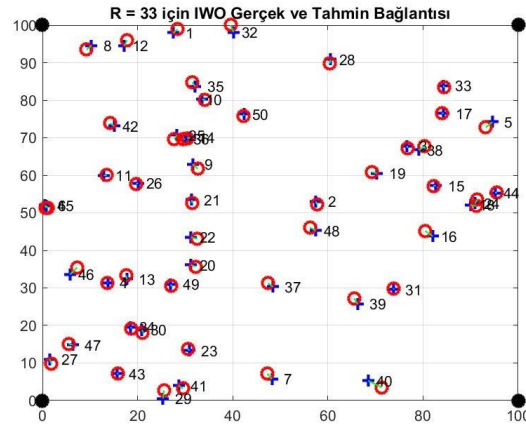
Simülasyon 26	1,3143
Simülasyon 27	1,7238
Simülasyon 28	1,7215
Simülasyon 29	1,7467
Simülasyon 30	1,9737
Ortalama Hata	1,4046567

5.2.4.4. R=33 için Simülasyon Sonuçları

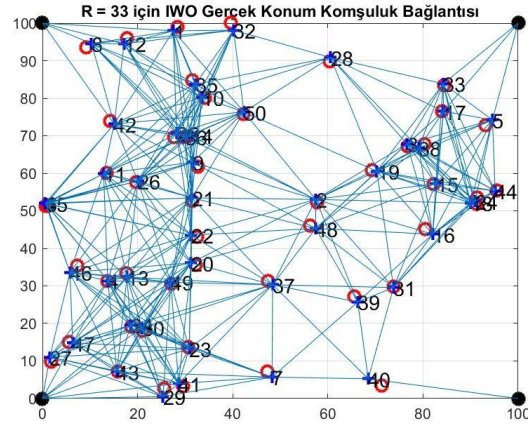
IWO yönteminin R=33 için 4-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.64, 5.65 ve 5.66'da gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.26'da belirtilmiştir.



Şekil 5.64. IWO'nun R=33'teki hata değeri



Şekil 5.65. IWO'nun R=33'te gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.66. IWO'nun R=33'te gerçek konumun komşuluk bağlantısı

IWO'nun R=33 birimde ise sensör düğümlerinin konumları hatasız bir şekilde gerçek konumları tahmin edilmiştir.

Çizelge 5.26. R=33'te IWO'nun hata değerleri

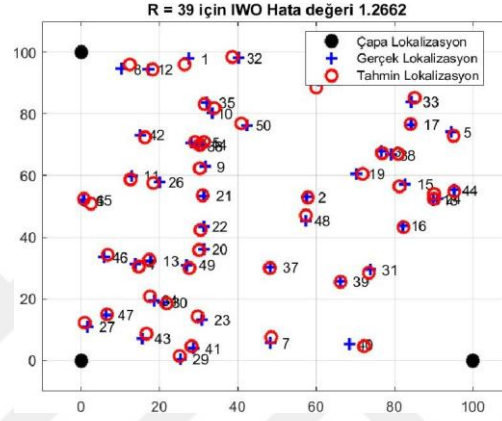
Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,0922
Simülasyon 2	1,1866
Simülasyon 3	1,2030
Simülasyon 4	1,0652
Simülasyon 5	1,3554
Simülasyon 6	1,1410
Simülasyon 7	1,0611
Simülasyon 8	1,1548
Simülasyon 9	1,1834
Simülasyon 10	1,1267
Simülasyon 11	1,0513
Simülasyon 12	1,2879
Simülasyon 13	1,2456
Simülasyon 14	1,2118
Simülasyon 15	1,0259
Simülasyon 16	1,2176
Simülasyon 17	1,0425
Simülasyon 18	0,99954
Simülasyon 19	1,1567
Simülasyon 20	1,1752
Simülasyon 21	1,1207
Simülasyon 22	1,1321
Simülasyon 23	1,1357
Simülasyon 24	1,1522
Simülasyon 25	1,0313
Simülasyon 26	1,2421
Simülasyon 27	1,1295
Simülasyon 28	1,0749

Çizelge 5.26. R=33'te IWO'nun hata değerleri (devamı)

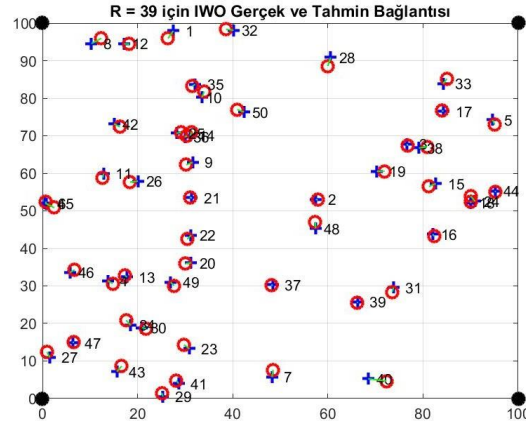
Simülasyon 29	1,2064
Simülasyon 30	1,1822
Ortalama Hata	1,1463513

5.2.4.5. R=39 için Simülasyon Sonuçları

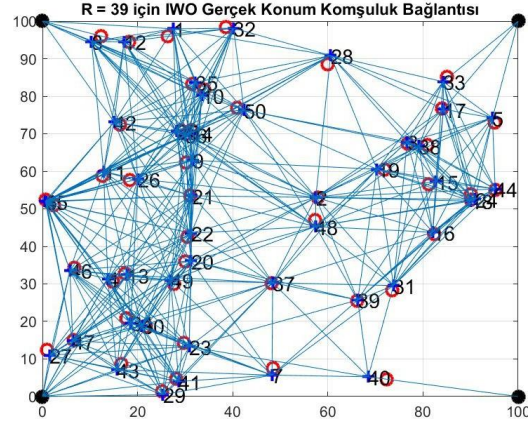
IWO yönteminin R=39 için 5-bağılılığa ait simülasyon sonuçları Şekil 5.67, 5.68 ve 5.69'da gösterilmiştir. 30 simülasyon için hata değerleri ve OH değeri Çizelge 5.27'de belirtilmiştir.



Şekil 5.67. IWO'nun R=39'daki hata değeri



Şekil 5.68. IWO'nun R=39'da gerçek ile tahmini konum arasındaki hata



Şekil 5.69. IWO'nun R=39'da gerçek konumun komşuluk bağlantısı

IWO'nun R=39 birimde ise sensör düğümlerinin konumları hatasız bir şekilde gerçek konumları tahmin edilmiştir.

Çizelge 5.27. R=39'da IWO'nun hata değerleri

Simülasyonlar	Hata Değerleri
Simülasyon 1	1,2662
Simülasyon 2	1,0121
Simülasyon 3	1,0430
Simülasyon 4	1,2062
Simülasyon 5	1,0730
Simülasyon 6	1,2574
Simülasyon 7	1,1707
Simülasyon 8	1,1231
Simülasyon 9	1,1518
Simülasyon 10	1,2681
Simülasyon 11	1,1542
Simülasyon 12	1,0301
Simülasyon 13	1,0572
Simülasyon 14	1,2160
Simülasyon 15	1,0953
Simülasyon 16	1,0682
Simülasyon 17	1,0792
Simülasyon 18	1,0673
Simülasyon 19	1,1701
Simülasyon 20	1,1782
Simülasyon 21	0,96512
Simülasyon 22	1,1734
Simülasyon 23	0,99461
Simülasyon 24	1,1459
Simülasyon 25	1,2639
Simülasyon 26	1,3725
Simülasyon 27	1,0266
Simülasyon 28	1,1417

Çizelge 5.27. R=39’da IWO’nun hata değerleri (devamı)

Simülasyon 29	1,2591
Simülasyon 30	1,3453
Ortalama Hata	1,145851

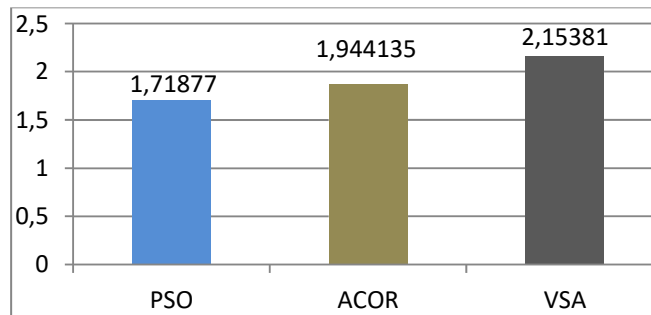
6. SONUÇLAR

6.1. Birinci Senaryonun Sonucu

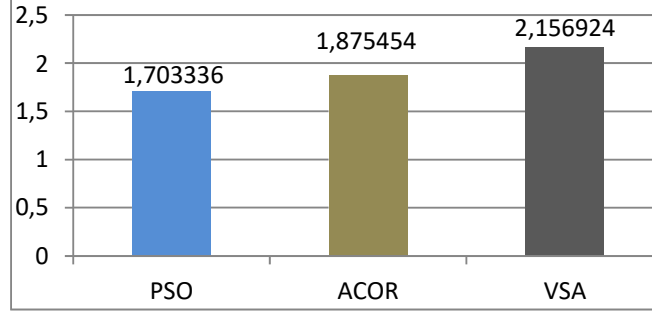
KSA’da konum belirleme ana problemlerden biridir. Bu sorunu çözebilmek için doğadaki canlıların yemek kaynağına ulaşmak ve tehlikelerden kaçmak için sergiledikleri davranışlardan esinlenerek geliştirilen optimizasyon algoritmalarından yararlanılmaktadır. Tez çalışmasında rastgele dağıtılan 50 adet sensör düğümleri, PSO, ACO_R ve VSA algoritmaları kullanılarak gerçek konumlarını daha az hata oranı ile tahmin edilmiştir. Ayrıca koordinatları (100,0), (0,100), (0,0) ve (100,100) olan 4 tane çapa düğümü yer almaktadır. Birinci çalışmada aynı sensör düğüm dağılımı bu üç algoritma için kullanılmıştır. Algoritmalar R=22 için bulgular kısmında veriler şekiller ve çizelgeler halinde gösterilmiştir. 20 ve 100 simülasyonun OH değeri hesaplanmış ve Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 6.1’de yer alan veriler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de de ifade edilmiştir. Çizelge ve şekillere bakıldığında PSO diğer algoritmalarla kıyasla daha az OH değerine sahiptir.

Çizelge 6.1. 20 ve 100 simülasyona ait OH

Algoritmalar	20 Simülasyon	100 Simülasyon
PSO	1,71877	1,703336
ACO _R	1,944135	1,875454
VSA	2,15381	2,156924



Şekil 6.1. Algoritmaların 20 simülasyon için OH



Şekil 6.2. Algoritmaların 100 simülasyon için OH

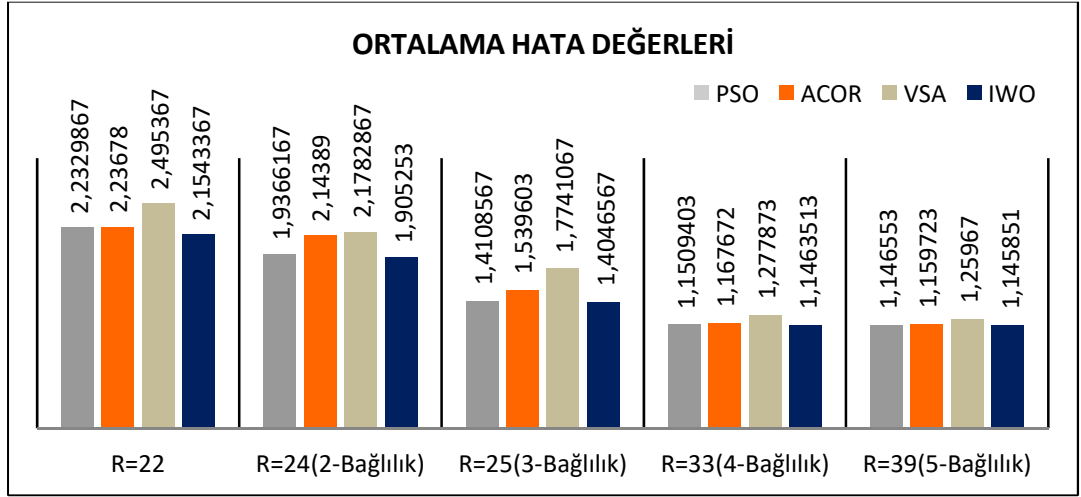
6.2. İkinci Senaryonun Sonucu

KSA'daki sensör düğümleri fiziksel fenomenleri algılayıp, birbirleriyle haberleşerek verileri baz istasyonuna göndermeleri önemlidir. Sensör düğümlerinin iletişimi kesilmeden toplanan verilerin baz istasyonuna gönderilebilmeleri için ağ tam bağlı olmalıdır. Bundan dolayı tezde KSA için önemli olan k-bağlılık özelliği tüm algoritmalar için incelenmiş ve OH üzerindeki etki Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. İkinci senaryoda, birinci senaryodan farklı düğüm dağılımı kullanılmış ama aynı parametre değerleri ele alınmıştır.

Çizelge 6.2'de R=22, R=24 (2-Bağlılık), R=25 (3-Bağlılık), R=33 (4-Bağlılık) ve R=39 (5-Bağlılık) için en düşük OH'ya sahip olan IWO'dur. PSO ve ACO_R algoritmaların değerleri birbirine yakın ama VSA'nın aldığı değer daha yüksektir. Şekil 6.3'te ise PSO, ACO_R, VSA ve IWO algoritmalarının k-bağlılık için 30 simülasyona ait OH değerleri ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında bütün algoritmalar R=22 birimden R=39 birime kadar OH önemli derecede azalmıştır. Ancak R=33 birimden R=39 birime kadar OH önemli derecede azalmadığı gösterilmiştir. Hem Şekil 6.3'te hem de Çizelge 6.2'de iletim aralığının artması ile k-bağlılık değerinin arttığı vurgulanmıştır. K-bağlılık artması, sensör düğümler arasındaki bağlantı sayısının artmasına neden olmaktadır. Bölüm 5'teki bulgular kısmında bu durum şekiller ile açıkça gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. K-bağlılık için OH değerleri

Algoritmalar	R=22	R=24	R=25	R=33	R=39
PSO	2,2329867	1,9366167	1,4108567	1,1509403	1,146553
ACO _R	2,23678	2,14389	1,539603	1,167672	1,159723
VSA	2,495367	2,1782867	1,7741067	1,277873	1,25967
IWO	2,1543367	1,905253	1,4046567	1,1463513	1,145851



Şekil 6.3. Algoritmaların k-bağıllık için OH değeri

K-bağıllık artması ile verilerin iletilmesinde harcanan enerji miktarının artmasına neden olmaktadır. Eğer harcanan enerji artarsa sensör düğümlerinin enerjileri çok kısa zamanda tükenmesine neden olmakta ve bu durum ağın ömrünün azalmasına yol açmaktadır. Bu istenilmeyen durumu ortadan kaldırmak için R=33 birimi seçmek daha mantıklıdır. R=33 birim hem daha az OH değerine sahip hem de daha az enerji kullanmaktadır.

6.3. Sensör Düğümlerinin Hatalı Konumlandırılmasının Nedenleri

Tezde birinci ve ikinci senaryoda rastgele dağıtılan 50 adet sensör düğümlerinin konumları optimizasyon algoritmalar kullanılarak tahmin edilmiştir. Konum tespitinde bazı sensör düğümlerinin gerçek konumları ile tahmini konumları arasında hata meydana gelmiştir. Bulgular bölümünde şekiller ile ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir.

Birinci senaryoda R=22 birim için PSO, ACO_R ve VSA algoritmalarında sensör düğümlerin gerçek konumlarının tahmininde hata meydana gelmiştir. İkinci senaryoda ise k-bağıllık PSO, ACO_R, VSA ve IWO algoritmalarına uygulanarak OH değeri düşmüştür. Ancak bu dört algoritmalarda, R=22, R=24 (2-Bağıllık), R=25 (3-Bağıllık), R=33 (4-Bağıllık) ve R=39 (5-Bağıllık) birimde bazı sensör düğümleri hatalı bir şekilde konumları tahmin edilmiş ve şekiller ile gösterilmiştir.

Hem birinci hem de ikinci senaryoda sensör düğümlerin gerçek konumlarının tahmininde flip belirsizliğinden, sensör düğümlerinin aynı doğru üzerinde bulunmasından ve komşuluk sayısının yeterli olmamasından dolayı hata meydana

gelmektedir. Flip belirsizliği her KSA'da meydana gelmemektedir. Ancak flip belirsizliği meydana gelen KSA'da sensör düğümlerinin konumlandırma hatasına neden olmaktadır. Doğrusallık özelliği, geniş alanlarda uygulanan KSA'da görülmektedir. Sensör düğümün komşuları bir doğrunun üstünde yer alıyorsa doğrusallık özelliği ortaya çıkmakta ve konumlandırmanın doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Komşuluk sayısı, sensör düğümlerinin konumlandırılmasını etkileyen özelliklerden biridir. Komşuluk sayısı arttıkça konumlandırma doğruluğu artmıştır. Çizelge 6.3'te birinci senaryo ve Çizelge 6.4'te ikinci senaryo için sensör düğümlerinin numaralarını ve hatalı konumlandırmaya neden olan özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.3. Birinci senaryo

SENSÖR DÜĞÜMLERİ VE NEDENLERİ			
İLETİM ARALIĞI (R)	ALGORİTMALAR		
	PSO	ACO _R	VSA
R=22	36, 17, 40, 43 ve 50-Hata az	19-Flip belirsizliği	44, 45, 33, 10 ve 8-Komşu sayısı az
	-	44-Komşu sayısı az	35-Hata az
	-	-	23- Flip belirsizliği
	-	-	12-Doğrusallık özelliği

Çizelge 6.4. İkinci senaryo

SENSÖR DÜĞÜMLERİN NUMARALARI VE HATA NEDENLERİ				
İLETİM ARALIĞI (R)	ALGORİTMALAR			
	PSO	ACO _R	VSA	IWO
R=22	28-Komşu sayısı az	28-Komşu sayısı az	28-Komşu sayısı az	28 -Komşu sayısı az
	40-Flip belirsizliği	40-Flip belirsizliği	40 ve 31-Flip belirsizliği	2-Doğrusallık özelliği
	2-Doğrusallık özelliği	31-Flip belirsizliği	2 ve 29-Doğrusallık özelliği	40-Flip belirsizliği
	7-Komşusu flip belirsizliği	2-Doğrusallık özelliği	7-Komşusu flip belirsizliği	31-Flip belirsizliği
	-	-	1, 20, 32, 44-Hata az	39-Hata az
R=24	40-Flip belirsizliği	7-Komşusu flip belirsizliği	28-Flip belirsizliği	2 ve 37-Doğrusallık özelliği
	2-Doğrusallık özelliği	40-Flip belirsizliği	2-Doğrusallık özelliği	40-Flip belirsizliği
	-	-	-	28-Komşu sayısı az
R=25	2-Doğrusallık özelliği	2-Doğrusallık özelliği	2-Doğrusallık özelliği	2 ve 19-Doğrusallık özelliği
		40-Flip belirsizliği	-	40-Flip belirsizliği
		31-Komşusu flip belirsizliği	-	-
R=33	Hata bulunmamakta	7 ve 31-Doğrusallık özelliği	Hata bulunmamakta	Hata bulunmamakta
R=39	Hata bulunmamakta	Hata bulunmamakta	Hata bulunmamakta	Hata bulunmamakta

KAYNAKLAR

- [1] Tan, Y. K. (Edit) (2010). Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design. İçinde Wang, Q. ve Balasingham, I. *Wireless Sensor Networks – An Introduction*.
- [2] Eren, T., Goldenberg, D. ve Whiteley, W. (2004). Rigidity, Computation and Randomization in Network Localization. *In Proceedings of the 2004 International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004)*, Hong Kong, 2673–2684.
- [3] Huanxiang, J., Yong, W. ve Xiaoling, T. (2010). Localization Algorithm for Mobile Anchor Node Based on Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network. *In: Proc. International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems, IEEE*, 40-44.
- [4] Waleed, A., Saif, D.C., McLernon ve Ghogho, M. (2011). A Weighted Fastmap Algorithm for Wireless Sensor Nodes Localization. *19th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Barcelona, Spain, 29 August, 1781-1785.
- [5] Kumar, A., Khosla, A., Saini, J. S. ve Singh, S. (2012). Meta-heuristic range based node localization algorithm for wireless sensor networks. *In: International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, IEEE, Munich, Germany, 1-7.
- [6] Krishnaprabha, R., ve Gopakumar, A. (2014). Performance of gravitational search algorithm in wireless sensor network localization. *In Proceedings of the National Conference on Communication, Signal Processing and Networking (NCCSN)*, Palakkad, India, 10–12 October, 1–6.
- [7] Goyal, S., ve Patterh, M. S. (2015). Flower Pollination Algorithm Based Localization of Wireless Sensor Network. *2nd International Conference On Recent Advances In Engineering & Computational Sciences (RAECS)*, 1-5.
- [8] Goyal, S. ve Patterh, M. S. (2015). Modified Bat Algorithm For Localization Of Wireless Sensor Network. *Wireless Pers Commun*, 86(2), 657-670.
- [9] Li, D. ve Wen, X. B. (2015). An Improved PSO Algorithm For Distributed Localization in Wireless Sensor Nodes. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(7), 1-8.
- [10] Öztürk, C. (2016). Yapay Arı Koloni Algoritması İle Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Lokalizasyon. *Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*. Normal Araştırma Projesi, Proje No:FBA-12-4029.
- [11] Shayokh, M. A. ve Shin, S. Y. (2017). Bio Inspired Distributed WSN Localization Based on Chicken Swarm Optimization. *Wireless Pers. Commun*, 97(4), 5691-5706.

- [12] Shieh, C. S., Sai, V. O., Lee, T. F. ve Le, Q. D. (2017). Node Localization in WSN using Heuristic Optimization Approaches. *Journal Of Network Intelligence*, 2(3), 275-286.
- [13] Rajakumar, R., Amudhavel, J., Dhavachelvan ve Vengattaraman T. (2017). GWO-LPWSN: Grey wolf optimization algorithm for node localization problem in wireless sensor networks. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2, 1-10.
- [14] Arora, S. ve Singh S. (2017). Node Localization in Wireless Sensor Networks Using Butterfly Optimization Algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineerin*, 1-11.
- [15] Strumberger, I., Tuba, E., Bacanin, N., Beko, M. ve Tuba, M. (2018). Monarch Butterfly Optimization Algorithm for Localization in Wireless Sensor Networks. *In Proceedings of the 2018 28th International Conference Radioelektronika*, Prague, Czech Republic, 19-20 April, 1-6.
- [16] Tuba, E., Tuba, M. ve Beko, M. (2018). Two Stage Wireless Sensor Node Localization Using Firefly Algorithm. *In Smart Trends in Systems, Security and Sustainability*; Yang, X.S., Nagar, A.K., Joshi, A., Eds.; Springer: Singapore, 113–120.
- [17] Babayiğit, B., Nayyef, H. ve Rudaini, H. A. (2018). Salp Swarm Algorithm for Localization of Wireless Sensor Network. *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018)*, 331-335.
- [18] Strumberger, I., Beko, M., Tuba, M., Minovic, M. ve Bacanin, N. (2018). Elephant Herding Optimization Algorithm for Wireless Sensor Network Localization Problem. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 175-184.
- [19] Wang, C., Chen, J., Sun, Y. ve Shen, X. (2009). Wireless sensor networks localization with isomap. *IEEE International Conference on Communications (ICC '09)*, Dresden, Germany, 14-18 June, 1-5.
- [20] Marks, M. ve Szykiewicz, E. N. (2007). Two-phase Stochastic Optimization to Sensor Network Localization. *International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM)*. Valencia, Spain, 14-20 October.
- [21] Zhang, Q., Wang, J., Jin, C., Ye, J., Ma, C. ve Zhang, W. (2008). Genetic Algorithm Based Wireless Sensor Network Localization. *Fourth International Conference on Natural Computation*. Jian, China, 18-20 October.
- [22] Peng, B. ve Li, L. (2015). An improved localization algorithm based on genetic algorithm in wireless sensor networks. *Cogn Neurodyn*, 9, 249–256 (2015).
- [23] Tang, C., Liu, R. ve Ni, R. (2013). A novel wireless sensor network localization approach: localization based on plant growth simulation algorithm. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 19(8), 97–100.

- [24] Sackey, S. H., Chen, J., Henry, A. J. ve Zhang, X. (2019). A Clustering Approach Based on Genetic Algorithm for Wireless Sensor Network Localization. *15th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)*. Macao, China, 13-16 December.
- [25] Krishnaprabha, R. ve Aloor G. (2014). Group search optimizer algorithm in wireless sensor network localization. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. Delhi, India, 24-27 September, 1953-1957.
- [26] Kannan, A. A., Mao, G. ve Vucetic, B. (2006). Simulated Annealing based Wireless Sensor Network Localization with Flip Ambiguity Mitigation. *The IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary (LCN'05)*, Sydney, NSW, Australia, 17-17 November.
- [27] Sohraby, K., Minoli, D. ve Znati, T. (2007). Wireless Sensor Networks, Technology, Protocols and Applications. *Journal of Computer and Communications*, 5(5).
- [28] Jindal, V. (2018). History and Architecture of Wireless Sensor Networks for Ubiquitous Computing. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 7(2).
- [29] Odabaşı, Ş. D. ve Tozan, S. (2009). Kablosuz Sensör Ağlar ve Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Tüketimi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13.Ulusal Kongresi*, Ankara.
- [30] Ökdem, S. ve Karaboğa, D. (2007). Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Teknikleri. *Akademik Bilişim '07 - IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 31 Ocak – 2 Şubat, 409-415.
- [31] Bekçibaşı, U. ve Tenruh, M. (2012). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri Ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı. *Akademik Bilişim '12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*.
- [32] Gupta, D. K. (2013). A Review on Wireless Sensor Networks. *International Conference on Recent Trends In Applied Sciences with Engineering Applications*, 3(1), (ISSN 2224-610X).
- [33] Warneke, B., Lsat, M., Liebowitz B. ve Pister, K. S. J. (2001). Smart Dust: Communicating with a cubic millimeter computer. 34(1).
- [34] Kalaycı, T. E. (2009). Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamalar. *Akademik Bilişim 2009*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Bildiri no: 197.
- [35] BTnodes - A Distributed Environment for Prototyping Ad Hoc Networks. <http://www.btnode.ethz.ch/> İndirilme Tarihi: 21.11.2021.

- [36] Khemapech, I., Duncan, I. ve Miller, A. (2005). A survey of wireless sensor networks technology. *In 6th Annual Postgraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting*, Liverpool, UK, June 2005.
- [37] Gupta, S. K. ve Sinha, P. (2014). Overview of wireless sensor network: a survey. *International Journal Of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 3(1), 5201-5207.
- [38] Zheng, J. ve Jamalipour, A. (2009). WIRELESS SENSOR NETWORKS A NETWORKING PERSPECTIVE. İçinde J. Zheng (Edt.), *Network Architectures and Protocol Stack* (ss.19-31). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [39] Reka, N. (2015). Wireless Sensor Networks (WSN). *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*, 64(4), 3706-3708.
- [40] Yick, J., Mukherjee, B. and Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292-2330.
- [41] Naz, P., Hengy, S. and Hamery, P. (2012). Soldier Detection Using Unattended Acoustic and Seismic Sensors. *In Proceedings of the SPIE 8389, Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR III, 83890T*, Baltimore, MD, USA, 24 May 2012.
- [42] Rippin, B. (2012). Pearls of wisdom: wireless networks of miniaturized unattended ground sensors. *In Proceedings of the SPIE 8388, Unattended Ground, Sea, and Air Sensor Technologies and Applications XIV, 83880H*, Baltimore, MD, USA, 24 May 2012.
- [43] Towle, J.P., Herold, D., Johson, R. ve Vincent, H. (2007). Low-Cost Acoustic Sensors for Littoral Anti-Submarine Warfare (ASW). *In Proceedings of the SPIE 6538, Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VI, 653814*, Orlando, FL, USA, 4 May 2007.
- [44] Scanlon, M., Reiff, C., Solomon, L. (2007). Aerostat acoustic payload for transient and helicopter detection. *In Proceedings of the SPIE 6538, Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VI, 65380H*, Orlando, FL, USA, 4 May 2007.
- [45] Isa, M. R. M., Abdullah, M. N., Zakaria, O., Ismail, M. N., Khairuddin, M. A., Maskat, K., Shukran, M. A. M. ve Amran, M. F. M. (2018). Securing WSN and MANET communication for military operation based on ECC algorithm. *International Journal Of Engineering & Technology*, 7(4), 6731-6734.
- [46] Chang, J., Mendyk, W., Thier, L., Yun, P., Laraw, A., Shaw, S. ve Schoenborn, W. (2006). Early Attach Reaction Sensor (EARS), a man-wearable gunshot detection system. *Proc. SPIE 6201, Sensors, and Command, Control Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense V, 62011T*, 10 May.

- [47] Kunt, R. A. (2017). ATEŞKES| Keskin Nişancı Tespit Sistemi. <https://www.defenceturk.net/keskin-nisanci-tespit-sistemi/>
İndirilme Tarihi:22.11.2021.
- [48] Khan, P., Hussain, Md. A. ve Kwak, K. S. (2009). Medical Applications of Wireless Body Area Networks. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, 3(3).
- [49] Hii, P. C. ve Chung, W.Y. (2011). A Comprehensive Ubiquitous Healthcare Solution on an Android™ Mobile Device. *Sensors*, 11(7), 6799-6815.
- [50] Kakria, P., w, N. M. ve Kitipawong, P. (2015). A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 11, 1-11.
- [51] Hefeeda, M. ve Bagheri, M. (2007). Wireless sensor networks for early detection of forest fires. *The Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, MASS-2007*, Pisa, Italy, October 8–11, 1–6.
- [52] San, B., Her, Y.S. ve Kim, J.G. (2006). A Design And Implementation of Forest-Fires Surveillance System Based on Wireless Sensor Networks for South Korea. *IJCSNS International Journal Of Computer Science And Network Security*, 6(9B), 124-130.
- [53] Malhotra, G. Ve Virmani, D. (2016). Intelligent Information Retrieval In A Tsunami Detection System Using Wireless Sensor Networks. *International Conference On Computing, Communication And Automation (ICCCA)*, 939-944.
- [54] Roy, S., Dwarkanath, A. ve Bandyopadhyay, S. (2009). Testbed Implementation Of A Pollution Monitoring System Using Wireless Sensor Network for The Protection Of Public Spaces. *International Journal of Business Data Communications and Networking*, 5(4), 16-32.
- [55] Mohamed, R.E., Saleh, A. I., Abdelrazzak, M. ve Samra, A.S. (2018). Survey on wireless sensor network applications and energy efficient routing protocols. *Wireless Pers Commun*, 1019-1055.
- [56] Becker, M., Wenning, B. L., Görg, C., Jedermann, R. Timm-Giel, A. (2011). Logistic Applications with Wireless Sensor Networks. *In Proceedings of the 6th Workshop on Hot Topics in Embedded Networked Sensors*, Killarney, Ireland, 28–29 June 2011, 1–5.
- [57] Lu, B., Wu, L., Habetler, T. G., Harley, R. G. Ve Gutierrez, J.A. (2005). On the application of wireless sensor networks in condition monitoring and energy usage evaluation for electric machines. *In Proceedings of the 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005)*, Raleigh, NC, USA, 6–10 November 2005.

- [58] Garg, V. Ve Jhamb, M. (2013). A Review of Wireless Sensor Network on Localization Techniques. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(4).
- [59] Singh, S. P. ve Sharma, S. C. (2015). Range free localization techniques in wireless sensor networks: A review. *Procedia Computer Science*, 57, 7-16.
- [60] Kulaib, A. R., Shubair, R. M., Al-Qutayri, M. A. ve Jason, W. P. (2011). An overview of localization techniques for wireless sensor networks. *International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, 25-27 April, 167-172.
- [61] Paul, A. K. ve Sato, T. (2017). Localization in wireless sensor networks: A survey on algorithms, measurement techniques, applications and challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 6(4).
- [62] Shrivasta, A. ve Bharti, P. (2015). Localization Techniques for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Applications*, 116(12).
- [63] Sevindi, C. (2015). Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Coğrafya Araştırmalarında Kullanımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3(1), 101-112.
- [64] Savun, A., Yılmaz, S. ve Dolma, A. (2007). Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Uygulaması. *İTUSEM 2007 III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İTUSEM 2007 III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*, 181-183.
- [65] muhendistan.com/ İndirilme Tarihi: 01.11.2021
- [66] tr.m.wikipedia.org/GPS/ İndirilme Tarihi: 01.11.2021
- [67] Alrajeh, N. A., Bashir, M. ve Shams, B. (2013). Localization Techniques in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(8), 761-764.
- [68] Akleylek, S., Kılıç, E., Söylemez, B., Aruk, T. E. Ve Yıldırım, A. Ç. (2020). Kapalı Mekan Konumlandırma Üzerine Bir Çalışma, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 90-105.
- [69] Boukerche, A., Oliveria, H. A. B. F., Nakamura, E. F. ve Loureiro, A. A. (2007). Localization systems for wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communications – Special Issue on Wireless Sensor Networks*, 14, 6-12.
- [70] Najeh, T., Sassi, H. ve Liouane, N. (2018). A novel range free localization algorithm in wireless sensor networks based on connectivity and genetic algorithms. *International Journal of Wireless Information Networks*, 25(1), 88-97.
- [71] Gui, L., Wei, A. ve Val, T. (2012). A range-free localization protocol for wireless sensor networks. *2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, Paris, France, 496–500.

- [72] Doğan., R. (2018). Kablosuz Sensör Ağları için Rssı Değeri İle Yapay Sinir Ağı Yaklaşımlı Konum Bulma. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi*, Elazığ.
- [73] Ademuwagun, A. ve Fabio, V. (2017). Reach Centroid Localization Algorithm. *Wireless Sensor Network 09(02)*, 87–101.
- [74] Kanmaz, M. ve Aydın, M. A. (2019). Kablosuz sensör ağlarda dv-hop tabanlı iç konumlandırma yöntemlerinin incelenmesi kıyaslanması ve K-means ++ kümeleme yöntemi ile yeni yaklaşım. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 975-986.
- [75] Chen, C. C., Chang, C. Y. ve Li, Y. N. (2013). Range-Free Localization Scheme in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Network*, 100-110.
- [76] He, T., Huang, C., Blum, B. M., Stankovic, J. A. ve Abdelzaher, T. (2003). Range-free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks. *9th ACM MobiCom*,
- [77] Liang, S. C., Liao, L. H. ve Lee, Y. C. (2014). Localization algorithm based on improved weighted centroid in wireless sensor networks. *Journal of Networks*, 9(1), 183-189.
- [78] Chen, H., Huang, P., Martins, M., So, H. C. ve Sezaki, K. (2008). Novel centroid localization algorithm for three-dimensional wireless sensor networks. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 12-14 October, Dalian, China, 1-4.
- [79] Bai, Y., Li, C. ve Xue, Y. (2013). A Centroid Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on RSSI. *Applied Mechanics and Materials*, 33(306), 197-200.
- [80] Ademuwagun, A. ve Fabio, V. (2017). Reach centroid localization algorithm. *Wireless Sensor Network 09*, 87–101.
- [81] Çakıcı, F. N. ve Eren, T. (2021). Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması ve Girdap Arama Algoritması ile Konum Belirleme. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 719-732.
- [82] Eren, T., Goldenberg, D. K., Whiteley, W., Yang, Y. R., Morse, A. S., Anderson, B. D. O. ve Belhumeur, P. N. (2004). Rigidity, computation, and randomization in network localization. *Proceedings-IEEE INFOCOM*, 4, 2673–2684.
- [83] Eren, T. (2017). The effects of random geometric graph structure and clustering on localizability of sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(12), 1-15.

- [84] Patwari, N., Ash, J., Kyperountas, S., Hero, A. O., Moses, R. M. and Correal, N. S. (2005). Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks, *IEEE Signal Process. Mag.*, 22(4), 54–69.
- [85] Aspnes, J., Eren, T., Goldenberg, D. K., Morse, A. S., Whiteley, W., Yang, R., Anderson, B. D. O. ve Belhumeur, P. N. (2006). *A theory of network localization*. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(12), 1663–1677.
- [86] Eren, T. (2016). Graph invariants for unique localizability in cooperative localization of wireless sensor networks: Rigidity index and redundancy index. *Ad Hoc Networks*, 44, 32–45.
- [87] Kadioğlu, T., Dinçer, H. ve Kuzlu, M. (2010). Kablosuz Duyarga Ağlarında Konum Belirleme. *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Konferansı (ELECO)*, 408-413.
- [88] Li, J., Andrew, L. L. H., Foh, C. H., Zukerman, M. ve Chen, H. H. (2009). Connectivity, coverage and placement in wireless sensor networks. *Sensors*, 9(10), 7664–7693.
- [89] Akram, V. K., Yiğit, Y. ve Dağdeviren, O. (2018). Telsiz Duyarga Ağlarında K-Bağlılık Denetleme Algoritmalarının Performans Değerlendirilmesi, *20.Akademik Bilişim Konferansı*, Adana, Turkey, 15 Ağustos.
- [90] Dağdeviren, O. ve Akram, V. K. (2017). TinyOS tabanlı telsiz duyarga ağları için bir konumlandırma ve k-bağlılık denetleme sistemi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 139–139.
- [91] Bayrakdar, Y., Yıldırım, K. S. ve Kantarcı, A. (2009). Kablosuz Duyarga Ağlarında İki Temel Araştırma Alanı: Saat Eşzamanlaması ve Topoloji Kontrolü. *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 11-13 Şubat.
- [92] Bozkurt, N. (2015). Sinyal Alım Gücü Ağırlıklı Ortalamaya Dayalı Ağ Konumlandırılması için Kablosuz Ağlarda Referans Düğümünün Yerleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale.
- [93] Bhat, S. J. ve Santhosh, K. V. (2020). Is localization of wireless sensor networks in irregular fields a challenge?. *Wireless Pers. Commun.*, 114(3), 2017-2042.
- [94] Farsi, M., Elhosseini, M., Badawy, Ali, H. A. ve Eldin, H. Z. (2019). Deployment Techniques in Wireless Sensor Networks, Coverage and Connectivity: A Survey. *IEEE Access*, 7, 28940-28954.
- [95] Bai, S. and Qi, H. D. (2016). Tackling the flip ambiguity in wireless sensor network localization and beyond. *Digit. Signal Process*, 55, 85–97.
- [96] Han, S., Yue, J., Meng, W. and Li, C. (2015). A Novel Flip Ambiguities Detection Algorithm for WSN Localization. *2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, San Diego, CA, 1-6.

- [97] Liu, W., Dong, E. and Song, Y. (2016). Analysis of flip ambiguity for robust three-dimensional node localization in wireless sensor networks. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 97, 57–68.
- [98] Kannan, A. A., Fidan, B. ve Mao, G. (2010). Analysis of flip ambiguities for robust sensor network localization. *IEEE Trans. Vehicular Technol*, 59(4), 2057–2070.
- [99] Yang, S., Enqing, D., Wei, L. and Xue, P. (2016). An Iterative Method of Processing Node Flip Ambiquity in Wireless Sensor Networks Node Localization. 2016 International Conference on Informational Networking (ICOIN), 92-97.
- [100] Stanoev, A., Filiposka, S., In, V. and Kocarev, L. (2016). Cooperative method for wireless sensor network localization. *Ad Hoc Networks*, 40, 61–72.
- [101] Bu, K., Xiao, Q., Sun, Z. and Xiao, B. (2012). Toward collinearity-aware and conflict-friendly localization for wireless sensor networks. *Computer Communications*, 35(13), 1549-1560.
- [102] Doğan, C. (2019). Balina Optimizasyon Algoritması Ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Kullanılarak Yeni Hibrit Optimizasyon Algoritmalarının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Kayseri.
- [103] Doğan B. and Ölmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex Search Algorithm. *Information Sciences*, 293, 125-145.
- [104] Kennedy, J. ve Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *IEEE Int. Conf. Neural Networks*, Perth, Australia, 1942-1948.
- [105] Özsağlam, M.Y. ve Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 299-305.
- [106] Ortakçı, Y. ve Göloğlu, C. (2012). Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Küme Sayısının Belirlenmesi. *Akademik Bilişim Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Uşak Üniversitesi, 335– 341, 1 - 3 Şubat.
- [107] Reyes-Sierra, M. and Coello Coello, C.A. (2006). Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 2(3), 287-308.
- [108] Karaboğa, D. (2004). Yapay zeka optimizasyon algoritmaları. *Nobel Yayın Dağıtım*.
- [109] Eberhart, R. and Kennedy, J. (1995). A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Sixth International Symposium On Micro Machine And Human Science*, Nagoya, Japan, 39-43.

- [110] Zhang, Y., Wang, S. & Ji, G. (2015) A comprehensive survey on particle swarm optimization algorithm and its applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 38.
- [111] Dorigo M., Maniezzo, V. ve Colorni, A. (1991). Positive feedback as a search strategy. *Dipartimento di Elettronica-Politecnico di Milano*, Milan, Italy, Technical Report NO. 91-016.
- [112] Dalkılıç, G., Türkmen, F. (2002). Karınca Kolonisi Optimizasyonu.YPBS2002 – Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu, Kocaeli, Ekim.
- [113] Şenaras, A. E. Ve İnanç, Ş. (2017). GPS Çözümü İçin Karınca Kolonisi Optimizasyonu. *Sosyal Bilimler Metinleri*, 2, 58-67, Aralık.
- [114] Keskindürk, T. ve Söyler, H. (2006). Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 689-698.
- [115] Socha, K. and Dorigo, M. (2008). Ant colony optimization for continuous domains. *European Journal of Operational Research*, 185(3), 1155–1173.
- [116] Afshar, A. and Madadgar, S. (2008). Ant Colony Optimization for Continuous Domains: Application to Reservoir Operation Problems. *Eight International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 13-18.
- [117] Ojha, V. K., Abraham, A. ve Snasel, V. (2014). ACO for Continuous Function Optimization: A Performance Analysis. *14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, Okinawa, Japan, 145–150, 28–30 November.
- [118] Doğan, B. ve Korürek, M. (2010). EKG Vurularının Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu Yardımıyla Sınıflandırılması ECG Beat Classification Using Ant Colony Optimization for Continuous Domains. *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, Bursa, 497-501.
- [119] Sağ, T. (2020). Çok Merkezli Girdap Arama Algoritması”, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*. 8, 1279-1294.
- [120] Mehrabian, A.R. and Lucas, C. (2006). A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. *Ecological Informatics*, 1(4), 355-366.
- [121] Okkan, U., Köse, O., Özsoy, M. and Uysal, H. (2017). Yabani Ot ve Diferansiyel Evrim Algoritmalarının Aylık Kavramsal Bir Yağış-Akış Modeli Kalibrasyonu Üzerinden Performanslarının İrdelenmesi. *DSİ Teknik Bülteni*, 124, 20-33.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Feyza Nur ÇAKICI

Doğum Tarihi

Yabancı Dil :İngilizce

Eğitim Durumu

Lisans : Erciyes Üniversitesi/Elektrik- Elektronik
Mühendisliği (2013-2018)

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi/Elektrik-Elektronik
Mühendisliği (2020-devam)

Yayınları (SCI) :

Yayınları (Diğer) :

Çakıcı, F. N. ve Eren, T. (2021). Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması ve Girdap Arama Algoritması ile Konum Belirleme. *International Journal of Engineering Research and Development*,13(2), 719-732.

Çakıcı, F. N. ve Eren, T. (2021). Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması, Girdap Arama Algoritması, Yabani Ot Optimizasyon Algoritmaları ile Konum Belirleme ve K-Bağlılık İnceleme. *International Journal of Engineering Research and Development*,13(3), 242-255.

Çakıcı, F. N., Eke, İ., Saka, M. ve Taplamacıoğlu, M. C. (2020). Performance Analysis for Load Frequency Control of Interconnected Power Systems with Different Techniques. *International Journal of Engineering Research and*

Development, 12(3), 89-106.

Araştırma Alanları : Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma, Güç Sistemleri Analizi

