

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BÜYÜK BOYUTLU GEZGİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DÜĞÜMLERİN
LOKALİZASYONU İÇİN ÇAPA DÜĞÜMLERİN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİYLE
YERLEŞİMİ**

DOKTORA TEZİ

Faruk Baturalp GÜNAY

**EYLÜL 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BÜYÜK BOYUTLU GEZGİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DÜĞÜMLERİN
LOKALİZASYONU İÇİN ÇAPA DÜĞÜMLERİN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİYLE
YERLEŞİMİ**

Faruk Baturalp GÜNAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 / 09 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 28 / 09 / 2021

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Kablosuz Algılayıcı Ağlar, son yıllarda kablosuz iletişim teknolojilerinde gözlemlenen çeşitlenme ve gelişme ile geniş alanlardan veri toplayabilme adına oldukça önem kazanmıştır. Özellikle Kablosuz Algılayıcı Ağlar alanında çalışan araştırmacıların ilgi odağı durumundaki lokalizasyon yöntemleri konusunda, konum kesinliğini artırmak ve enerji tasarrufu hedeflerini gerçekleştirmek için yeni tekniklere ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasında, büyük boyutlu bir kablosuz algılayıcı ağın lokalizasyonu, değişken ağ yapısı hususlarını göz önünde bulundurmanın yanı sıra icra zamanı; optimum lokalizasyon için gerekli çapa düğümü sayısı gibi performans ölçütleri bağlamında önemli kazanımlar sağlayan etkin bir çapa düğümü yerleşimi algoritması tasarlanmıştır.

Tez konusu seçiminde belirleyici rol alan, çalışmalarında danışmanlığımı üstlenen, doktora sürecimin en başından beri sunduğu değerli katkılarıyla çalışmama yön veren, her zaman sunduğu destekleriyle yanımda olan ve kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma sürecinde değerli görüşlerini ve düşüncelerini beyan etmekten sakınmayan Sayın Prof. Dr. Kadir TÜRK ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selçuk CEVHER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince bana destek olan Dr. Mustafa CANIM'a şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatımda bu noktaya gelmeme vesile olan, desteğini sürekli olarak hissettiğim çok değerli babam Prof. Dr. Sakıp Selçuk GÜNAY'a, çalışmamın en önemli destekçilerinden ve verdikleri cesaretle beni rahatlatan çok sevgili annem İnciser GÜNAY'a ve kardeşim Hüma Nurper CANIM'a şükranlarımı sunarım. Uzun soluklu tez çalışması süresince her zaman bana destek olan çok sevdiğim eşim Gülşah GÜNAY'a ve oğlum Selçuk Alptuğ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Faruk Baturalp GÜNAY

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Büyük Boyutlu Gezgin Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Düğümlerin Lokalizasyonu İçin Çapa Düğümlerin Optimizasyon Yöntemleriyle Yerleşimi” başlıklı çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri /örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı /yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdığimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/09/2021

Faruk Baturalp GÜNAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. KAA Yapıları	5
1.2.1. KAA Yapılarının Sınıflandırılması	5
1.2.2. KAA Çeşitleri.....	6
1.2.3. KAA Uygulama Alanları.....	6
1.2.4. KAA Protokol Temelleri	9
1.2.5. KAA Yapıları	10
1.3. Lokalizasyona Dair Temel Bilgiler	12
1.3.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar ve Lokalizasyonda Karşılaşılabilecek Zorluklar	13
1.3.2. Lokalizasyonda Kullanılan Temel Teknolojiler.....	15
1.3.3. Düğümlerin Hareket Durumuna Göre Lokalizasyon Çeşitleri.....	17
1.4. Tezin Motivasyonu.....	18
1.5. KAA Yapılarında Lokalizasyon Teknikleri	19
1.6. KAA Yapıları İçin Lokalizasyonun Sınıflandırılması.....	19
1.6.1. Çapa Düğüm Tabanlı ve Çapa Düğümden Bağımsız Lokalizasyon	20
1.6.2. Merkezi Lokalizasyon ve Dağıtık Lokalizasyon.....	21
1.6.3. Bireysel Lokalizasyon ve İşbirlikçi Lokalizasyon	21
1.6.4. Uzaklık Tabanlı Lokalizasyon ve Uzaklıktan Bağımsız Lokalizasyon.....	22
1.6.4.1. Uzaklık Tabanlı Lokalizasyon.....	23
1.6.5. Metasezgisel Lokalizasyon.....	27
1.6.6. Çapa Düğüm Seçimi.....	30

1.6.7.	Çapa Düğüm Yerleşimi	33
1.7.	DV-Hop Lokalizasyon	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	42
2.1.	Kanal Modeli.....	44
2.2.	Gezginlik Modeli.....	45
2.3.	Sanal Koordinat Sistemi Oluşumu ve Sanal Lokalizasyon	47
2.4.	Çapa Düğüm Adaylarının Tespiti.....	50
2.5.	Çapa Düğüm Adaylarının Sanal Koordinatlarının Tespiti.....	52
2.6.	Optimizasyonun Temelleri ve Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerine Giriş..	54
2.7.	Bozkurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization-GWO).....	59
2.8.	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization- PSO)	66
2.9.	Analitik Yöntem	69
2.10.	Optimizasyon Yöntemleri İçin Uygunluk Fonksiyonunun Geliştirilmesi	70
2.11.	Lokalizasyon	72
2.12.	İteratif (Yinelemeli) Lokalizasyon	74
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	75
3.1.	Simülasyon Sistem Modeli.....	76
3.2.	Çok Büyük Boyutlu KAA Yapıları İçin Optimal Çapa Düğüm Yerleşimleri	77
3.3.	Alınan İşaret Gücünün (RSSI) Değerlendirilmesi.....	79
3.4.	Kapsama Alanı Etkisi.....	80
3.5.	Düğüm Sayısı Etkisi.....	86
3.6.	Uygulanan Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerinin İcra Zamanları	87
3.7.	Makine Öğrenme Yöntemleriyle Lokalizasyon Açısından Mukayese.....	89
3.8.	DV-Hop Yöntemiyle Mukayese.....	92
4.	SONUÇLAR	95
5.	ÖNERİLER	98
6.	KAYNAKLAR.....	100

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

BÜYÜK BOYUTLU GEZGİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DÜĞÜMLERİN
LOKALİZASYONU İÇİN ÇAPA DÜĞÜMLERİN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİYLE
YERLEŞİMİ

Faruk Baturalp GÜNAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR
2021, 112 Sayfa

Lokalizasyon, hedef izleme ve nesne izleme gibi çeşitli kullanım alanları için Kablosuz Algılayıcı Ağlarında (KAA) önemli bir süreç olmaktadır. Çapa düğümleri, konumlarını GPS sinyalleri veya elle verilen konumlar aracılığıyla bulabildikleri ve ağdaki diğer düğümlerin konumlarını belirlemelerine yardımcı oldukları için bu görevde kritik rol oynar. Bu nedenle, bir KAA'daki çapa düğümlerinin optimal yerleşimi, düğümlerin konumlarını bulmada daha kesin doğruluk sağlarken enerji tüketimini azaltmak için özellikle önem arz eder. Bu tezde, Bozkurt Optimizasyonu (GWO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemlerine dayalı olarak, büyük ölçekli bir KAA'da en uygun çapa düğümü sayısını ve en uygun yerleştirme stratejisini bulmak amacıyla yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımın ilk adımı olarak, sürecin verimliliğini optimize etmek için sanal lokalizasyon süreci bir sanal koordinat sistemi üzerinden sağlanmıştır. GWO ve PSO yöntemleri, kapsama alanı tabanlı bir analitik yöntem, Destek Vektör Makinesi (SVM) regresyonu ve Çoklu Regresyon gibi makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca lokalizasyon alanında DV-HoP yöntemiyle mukayese edilmiştir. Bir KAA'da farklı sayıda düğüm ve farklı maksimum kapsama uzaklıkları ile çalıştırdığımız simülasyonlar, önerilen yaklaşımların çapa düğümlerinin sayısını azaltırken lokalizasyon hatalarını en aza indirme anlamında üstün olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, lokalizasyon, çapa düğüm yerleşimi, bozkurt optimizasyonu, parçacık sürü optimizasyonu

PhD. Thesis

SUMMARY

ANCHOR NODE PLACEMENT WITH OPTIMIZATION METHODS FOR LOCALIZATION
OF NODES IN LARGE-SCALE MOBILE WIRELESS SENSOR NETWORKS

Faruk Baturalp GÜNEY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tuğrul ÇAVDAR
2021, 112 Pages

Localization is an important process in Wireless Sensor Networks (WSNs) for various usage areas such as target tracking and object tracking. Anchor nodes play a critical role in this task since they can find their location via GPS signals or manual setup mechanisms and help other nodes in the network determine their locations. Therefore, optimal placement of anchor nodes in a WSN is particularly important to reduce energy consumption while providing more precise accuracy in locating nodes. In this thesis, a new approach is proposed to find the optimal number of anchor nodes and the optimal placement strategy in a large-scale WSN, based on Gray Wolf Optimization (GWO) and Particle Swarm Optimization (PSO) methods. As the first step of this approach, the virtual localization process is provided over a virtual coordinate system to optimize the efficiency of the process. GWO and PSO methods are compared with machine learning approaches such as a coverage-based analytical method, Support Vector Machine (SVM) regression, and Multiple Regression. In addition, it was compared with the DV-HoP method in the localization aspect. The simulations we run in a WSN with different numbers of nodes and different maximum coverage distances show that the proposed approaches are superior in terms of minimizing localization errors while reducing the number of anchor nodes.

Key Words: Wireless Sensor Networks; Localization; Anchor Node Placement; Grey Wolf Optimization; Particle Swarm Optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	OSI ve KAA Katmanları	10
Şekil 2.	Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme	12
Şekil 3.	Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) Genel Yapısı.....	14
Şekil 4.	RSSI ile Lokalizasyon Genel Yapısı	24
Şekil 5.	TOA ile Lokalizasyon Genel Yapısı.....	25
Şekil 6.	TDOA ile Lokalizasyon Genel Yapısı.....	26
Şekil 7.	DV-Hop lokalizasyon örneği.....	40
Şekil 8.	Genel Sistem Yapısı	44
Şekil 9.	Rastgele yürüyüş gezginlik modeline sahip 3 düğüm.	46
Şekil 10.	Bir atlama (basamak) seviyesindeki düğümlerin oluşturduğu sanal koordinat ... sistemi.....	49
Şekil 11.	KAA yapısında flooding veri gönderim örneği.....	49
Şekil 12.	KAA yapısında bir kesişim alanı (IA) örneği.....	50
Şekil 13.	Kesişim alanı (IA) tespiti sözde kodu.....	51
Şekil 14.	A,B,C ve D düğümleri kesişim alanı (IA) içinde bulunan çapa düğüm adayı.	53
Şekil 15.	Bozkurt optimizasyonunda hiyerarşi ve sürüdeki hiyerarşik nüfus dağılımı. ..	60
Şekil 16.	Bir kurt sürüsünün tipik avlanma davranışı [36]: Avı kovalamak, takip etmek ve yaklaşmak (A), avı hareketsiz hale gelene kadar takip etmek, taciz etmek ve kuşatmak (B-D), ava saldırmak (E).	62
Şekil 17.	Ava saldırı ve av araştırma durumları	63
Şekil 18.	GWO optimizasyonunda konum güncellemesi	64
Şekil 19.	Bozkurt Optimizasyonu akış şeması.....	65
Şekil 20.	Düğümleri, çapa düğüm adayları ve baz istasyonu (S) ile bir KAA örneği.	72
Şekil 21.	Yinelemeli lokalizasyon örneği.	74

Şekil 22.	15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında PSO yöntemiyle çapa düğüm yerleşimi.	77
Şekil 23.	15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında GWO yöntemiyle çapa düğüm yerleşimi.	78
Şekil 24.	15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında deterministik (analitik) yöntemle çapa düğüm yerleşimi..	78
Şekil 25.	Lokalizasyonu yapılmamış düğümlerin çapa düğümlerine olan iletişim uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak RSSI	80
Şekil 26.	7500 m×7500 m alanda 750 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum çapa sayıları	81
Şekil 27.	7500 m×7500 m alanda 1000 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları	81
Şekil 28.	7500 m×7500 m alanda 1250 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları	82
Şekil 29.	7500 m×7500 m alanda 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları	82
Şekil 30.	7500 m×7500 m alanda 750 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları	83
Şekil 31.	7500 m×7500 m alanda 1000 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları	84
Şekil 32.	7500 m×7500 m alanda 1250 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları	84
Şekil 33.	7500 m×7500 m alanda 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları	85
Şekil 34.	7500 m×7500 m alanda (a) 750, (b) 1000, (c) 1250, (d) 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen çapa düğüm-lokalizasyon ödünleşim (trade-off) eğrileri.	86
Şekil 35.	4000 m×4000 m KAA’daki değişen düğüm sayılarının lokalizasyon hatasına etkisi.....	87
Şekil 36.	4000 m×4000 m KAA’da 1800 saniye boyunca GWO ve PSO çapa düğüm yerleşim algoritmalarının algoritma icra süreleri.	88
Şekil 37.	Sabit çapa düğüm sayısına karşın düğüm sayısını artırmanın lokalizasyon performanslarına etkisi	89
Şekil 38.	Sabit düğüm sayısına karşın çapa düğüm sayısını artırmanın lokalizasyon performanslarına etkisi	90
Şekil 39.	Değişen çapa düğüm numaralarının tüm düğümlere oranı ile lokalizasyon hataları arasındaki ödünleşimlerin (trade-off) karşılaştırılması.....	91

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Simülasyon parametreleri	76
Tablo 2.	10000 düğüme sahip 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20, 25, 30 ve 35 m olan bir KAA yapısında çapa düğüm sayıları ve lokalizasyon yöntemlerine dair lokalizasyon hataları	79
Tablo 3.	100-200 düğüme sahip 1 kmX1 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 metre olan bir KAA yapılarında çapa düğüm sayıları ve EKK ve DV-Hop hataları	92
Tablo 4.	150-350 düğüme sahip 1 kmX1 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 metre olan bir KAA yapılarında çapa düğüm sayıları ve EKK ve DV-Hop hataları	93

SEMBOLLER DİZİNİ

WSN	Kablosuz Algılayıcı Ağlar (Wireless Sensor Networks)
YSG	Yapısal Sağlık Görüntüleme
GPS	Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
DGPS	Diferansiyel Küresel Konumlama Sistemi (Differential Global Positioning System)
CO ₂	Karbondioksit
MAC	Ortam Erişim Kontrol (Media Access Control)
UDP	User Datagram Protocol
SNSP	Sensor Network Service Platform
TCP	Transmission Control Protocol
AOA	Angle of Arrival
TOA	Time of Arrival
TOF	Time of Flight
TDOA	Time Difference of Arrival
RSSI	Received Signal Strength Indication
RSU	Yol Kenarı nitesi (Road Side Unit)
DSRC	Dedicated Short Range Communication
LOS	Direkt Grş Olan Yayınım (Line-of-sight propagation)
NLOS	Direkt Grş Olmayan Yayınım (Non-line-of-sight propagation)
SI	Sr Zekası (Swarm Intelligence)
ABC	Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)
ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)
BFA	Bakteriyel Toplama Algoritması (Bacterial Foraging Algorithm)
SFLA	Karıştırılmış Kurbağa Sıçraması Algoritması (Shuffled Frog-Leaping Algorithm)
PSO	Parçacık Sr Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
GWO	Bozkurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization)
DV-Hop	Distance Vector-Hop Localization
GOS DV-Hop	Global Optimized Solution Distance Vector-Hop Localization

PLA	Parçacık Sürü Algoritması Tabanlı Lokalizasyon Algoritması (Particle Swarm Based Optimization Based Localization Algorithm)
WLAN	Kablosuz Yerel Ağ (Wireless local area network)
CRLB	Cramer-Rao Alt Sınırı (Cramer-Rao Lower Bound)
KA	Kesişim Alanı (Intersection Area)
RF	Radyo Frekans
PCS	Personal Communications Services
WC	Ağırlık Merkezi Yöntemi (Weighted Centroid)
RMSE	Ortalama Hata Kare Kökü (Root Mean Square Error)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
CCS-MAP	Eğrisel Bileşen Analizi Haritalandırması (Curvilinear Component Analysis Mapping)
MDS	Çok Boyutlu Ölçekleme (Multi-Dimensional Scaling)
MDS-MAP	Çok Boyutlu Ölçekleme Haritalandırması (Multi-Dimensional Scaling Mapping)
LLS	Doğrusal En Küçük Kareler (Linear Least Squares)
PDM	Yakınlık-Mesafe Haritası (Proximity-Distance Map)
CSO	Karga Arama Optimizasyonu (Crow Search Optimization)
p_0	Başlangıç uzaklığında alınan işaret gücü
d_0	Referans Uzaklığı
p_r	Alınan işaret gücü
PG	Yol Kazancı
N_i	Tek Atlamalı Komşu
D_i	Tek atlamalı komşuya olan uzaklık
E_i	Düğümün enerji seviyesi
M_i	Düğümün hızı
x_n, y_n	Düğümün iki boyutlu koordinat sistemindeki konumu
w_{ij}	Düğümün ağırlığı
d_{ij}	Ağırlık merkezi ile düğüm arasındaki uzaklık
\vec{A} ve \vec{C}	Katsayı vektörleri
\vec{X}_p	Avın konum vektörü
\vec{X}	Bozkurt konum vektörü

v_i	Parçacık hızı
p_i	Parçacık tarafından ziyaret edilen en iyi konum
x_i^{k+1}	Parçacığın mevcut konumu
x_i^k	Parçacığın önceki konumu
V_i^{k+1}	Parçacığın mevcut hızı
$pbest_i$	i indeksli parçanın en iyi uygunluğu
g_{best}	Küresel en iyi
c_1 ve c_2	İvme sabitleri
w_{max}	Maksimum ağırlık
w_{min}	Minimum ağırlık
t_{max}	Maksimum tekrar sayısı
(Mav_i)	Çapa adayının komşu düğümlerinin ortalama hızı
V	Bataryanın ilk gerilim seviyesi
Vav_i	Çapa adayının komşu düğümleri için tüketilen ortalama gerilim seviyesi
Deg_i	Çapa adayının komşu sayısı
$d_{av}(i)$	Çapa adayının komşu düğümlerinin ortalama uzaklığı
r	Maksimum kapsama uzaklığı
Tri_i	Çapa adayının gerçekleştirebildiği trilaterasyon sayısı
$Tri(all)$	Tüm KAA'daki trilaterasyon sayısı
$NNodeTri_i$	Çapa adayının yaptığı trilaterasyon ile lokalize edilen düğüm sayısı
$Hopsiz A_i$	Sekme başına ortalama uzaklık

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişte çevresel parametreleri algılama görevini yerine getirebilmesi için kablolu iletim kullanılırken, yaklaşık olarak son yirmibeş yıldır işlemci, kablosuz haberleşme ve algılayıcı teknolojilerindeki gelişmeler boyut olarak küçük ve düşük maliyetli kablosuz algılayıcı düğümlerin geliştirilebilmesini sağlamıştır [1].

Bir algılayıcı bulunduğu ortama ait fiziksel büyüklüğü ölçebilen bir cihazdır. Bu fiziksel büyüklükler nem, kızılötesi ışık, akustik bir ses, sıcaklık, titreşim, basınç vb. değerler olabilir. Bir cihazdan alınan ölçüm analog veya sayısal olarak yorumlanabilir. Elde edilen değer analog ise mikro denetleyici veya mikroişlemci tarafından sayısal değere dönüştürülür. Bu değerde evrensel ve anlaşılabilir bir değere dönüştürülüp sonraki birime sunulur. Kablosuz algılayıcı düğümlerin kablosuz haberleşme ile belirli bir koordinasyon içerisinde kullanılmasına imkân veren ağlara ise kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) denmektedir. Yine diğer bir tarifle bir kablosuz algılayıcı ağı küçük boyutlu, düşük enerji kullanan ve istenen bölgeyi gözleyebilen cihazların oluşturduğu ağıdır [2].

Bir kablosuz algılayıcı düğümde olabilecek temel özelliklerden birisi algılayıcı birime ait enerji kısıtlılığıdır. Aynı şekilde kablosuz haberleşme kısmında da belirli bir enerji sınırlaması vardır. Bu sınırı belirleyen durum ise transfer edilen veri oranı ve miktarı, verinin gönderildiği veya alındığı uzaklık, haberleşme kullanılma sıklığı vb. özellikler tarafından belirlenir. Bugün çeşitli uygulamalar için farklı frekanslarda görev yapan ve 45 km uzaklığa kadar muadil cihazlarıyla haberleşebilen kablosuz algılayıcı düğümler mevcuttur. Bir düğüm genel olarak mikrokontrolör, alıcı-verici, güç kaynağı hafıza ünitesi ve birkaç algılayıcıdan oluşur. Cricket, Mica2, MicaZ, TelosB, SunSPOT, IRIS ve Imote2 örnek KAA platformları olarak gösterilebilir.

Kablosuz algılayıcı ağlar birbirleriyle rf (radyo frekanslı elektromanyetik dalga) ortamında çeşitli iletişim protokolleri çerçevesinde haberleşirler. Bu ağ içinde bulunan düğümler; inceleme altındaki ortama ait belirtileri algılayıp bu fiziksel büyüklükleri analog işaret halinde çıktı üreten algılayıcı (sensör), gelen işaretleri dönüştürüp işlenmeye hazır hale getiren analog sayısal dönüştürücü, gelen işaretlerin ön işleme tabi tutulması ile kablosuz

haberleşme protokollerinin ve üzerindeki işletim sistemlerinin icra edilmesini sağlayan mikrodenetleyici veya mikroişlemci, rf ünitesi ve tüm bu birimlere enerji sağlayan güç ünitesinden oluşmaktadır. Söz konusu birimlere sahip algılayıcı düğümler gönderecekleri verileri ön işlemde geçirip yine bu ağ içindeki diğer muadil düğümlere iletme yeteneğine sahiptirler.

Algılayıcı düğümlerin geliştirilme süreci 1998 yılındaki Smartdust projesi ile başlamıştır. Bu çalışmadaki amaç kübik milimetre içerisinde otonom algılama ve iletişim fonksiyonlarını sağlamaktır. Bu projeden sonra ise Berkeley NEST1 ve CENS2 projeleri hayata geçirilmiştir.

Ayrıca KAA yapıları tasarsız ağların bir alt sınıfıdır. Tasarsız ağ yapıları merkezi bir yönetimden ziyade kendi kendini düzenleyebilme imkânına sahiptir [3]. KAA yapılarının tasarsız ağlardan ayrılan özelliği ise merkezi yapıya sahip olup, algılayıcı düğümlerin çevreden aldığı işaretleri algılama ve ölçebilmesidir. İki düğümün iletişim durumunda arada bulunan düğümler mesajları ileri doğru iletir ve kablosuz ağ çok basamaklı ağ (multi-hop network) halini alır. Düğümlerin hareketliliğine bağlı olarak, topoloji dinamik yapıya sahiptir. Ayrıca yönlendirme protokolleri mesajların uçtan uca ulaşması amacıyla kullanılırlar.

Algılayıcı düğümleri kendi aralarında radyo işaretlerini kullanarak anlaşılırlar. Algılayıcı düğümler yerleştirildikten sonra çok duraklı ve kendi kendini organize edebilen bir kablosuz haberleşme ağının elemanı olacak nitelenebilir. Daha sonra ise bağlantılı olan duyarğalar arzu edilen bilgileri toplamaya başlarlar. Kablosuz algılayıcılar kontrol alanından gönderilecek isteklere cevap olarak özel komutların uygulanışı ya da algılama örneklerini gönderirler. Algılayıcı düğümlerin çalışması olay tetiklemeli veya devamlı şekilde olmaktadır. Ayrıca kablosuz algılayıcılar ortamın koşullarına müdahale edecek aktüatörlerle donatılabilmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağları, gereksinimlerden dolayı yeni uygulamaları devreye sokup, daha önce uygulanmamış protokol örneklerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Düşük seviyedeki donanım karmaşıklığı ve düşük enerji tüketim gereksinimi, haberleşme ve işaret/veri işlem parametreleri arasında dengeyi ihtiyaç haline getirir. KAA yapıları askeri, tıp, tarım, çevre gibi çeşitli alanlarda kullanılmakta olup inceleme altındaki ortamın durumuna göre programlanabilmektedir.

KAA yapılarının çeşitli ortak özellikleri bulunmasına rağmen, istenen her görevi yerine getirebilen bir KAA Yapısı bulunmamaktadır. Çoğu KAA uygulaması belirli KAA karakteristiklerini içinde barındırır. Bunlar; ölçeklenebilirlik, süreklilik, hizmet kalitesi (QoS), ağ ömrü vb. unsurlar olmaktadır. Doğal olarak bu olguları gerçekleştirebilmek için KAA yapısının çok basamaklı kablosuz haberleşme, enerji verimliliği, uyum içinde çalışma vb. özelliklere sahip olması gerekmektedir.

KAA uygulamalarının uzun soluklu olmasının önündeki en büyük engel enerji, haberleşme ve işlemsel karmaşıklığın getirdiği kısıtlardır. İyi tasarlanmış olan bir KAA yapısında bu parametrelerin dengeli olması, düğümlerin ve dolayısıyla ağın bütünüünün ömrünü uzun tutabilmesi amaçlanır.

KAA yapılarının etkin kullanımı yönlendirme (routing), uygulama tabanlı haberleşme, heterojen KAA yapıları gibi çeşitli konuların inceleme altına alınmasını sağlamıştır. Ancak bu çalışmanın odak noktasında ağ içindeki düğümlerin konumlarının etkin bir şekilde tahmini bir diğer ismiyle lokalizasyon bulunmaktadır. Lokal veya GPS konumlandırma algoritmaları konum bilgisi sağlayan teknikleridir. Lokalizasyonda yukarıda ismi geçen diğer konular gibi literatürde kendine çokça yer bulmuş bir husustur. Lokalizasyon ağ protokolleri, yönlendirme gibi birçok uygulamada gereksinim duyulan bir işlem olabilmektedir. Gerçek hayatta birçok durumda kablosuz düğümün konumunu bilebilmesi önemlidir.

Daha öncede bahsedildiği üzere çeşitli KAA uygulamaları özellikle konum bilgisine ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak yüksek teknolojik avantajlarına rağmen özellikle büyük ölçekli KAA yapılarında tüm düğümlere GPS entegre veya modülü yerleştirilmesi maliyet açısından önemli bir dezavantaj teşkil etmektedir. Ayrıca GPS sinyallerinin tüm yüzey veya konumlarda aynı verimde alınamayacak olması, sistemin her yerde aynı kesinlikle çalışamayacak olmasına sebep olur.

Bu yapılar iletişim konum, gereksinim ve ağ yapılarına göre üç gruba ayrılabilir [4].

- Periyodik ölçüm yapan ve bu ölçümleri baz istasyona veya çapa düğüme ileten KAA düğümleri.
- Gezgin bir nesneyi takip eden ve bu nesnenin daima güncellenmekte olan konumunu çapa düğüme ileten KAA düğümleri.

- Herhangi bir özel durumun veya olgunun varlığını tespit edip bunu raporlayan ve çapa düğümüne iletebilen KAA düğümleri. Toprak kayması tespiti veya bir mekânda insan tespiti bu duruma örnek olabilmektedir.

Çoğu KAA uygulaması geniş alanlarda uygulanmakta, ayrıca yüksek sayıda düğüm içeren bu durumlarda düğümleri elle yerleştirmek zahmetli bir süreç olabilmektedir. Bu sebeple düğümlerin yerleşimi sonrası konumlarının bilinmesi gerektiğinde maliyet etkinliğine sahip lokalizasyon yöntemleri devreye girer. Literatürde hali hazırda yukarıda bahsedilen ağ kısıtlarıyla bu konuya dair çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

KAA yapılarında kullanılan konum bilgisi aşağıdaki çeşitli alanlarda kullanılabilir [5]:

- Doğal felaketler, orman yangınları, inşaat yapılarındaki çökmeler gibi olabilecek problemlerin takibi konusunda erken uyarı sistemleri sayesinde verilen sistemsel cevaplar, oluşabilecek zararların önüne geçilebilmektedir. Çeşitli çalışmalarda bu durumlar irdelenmiştir [6, 7]. Buradaki sistemsel cevaplar hassas konum bilgisi sağlayabilmektedir. Dolayısıyla hassas konum bilgisi bu tür sakıncalı durumların engellenebilmesinde pay sahibidir [8].
- Navigasyon ve araç takibi KAA yapılarında kullanılan ve konum bilgisi gerektiren bir diğer önemli alandır. Araç takibi sayesinde normal araçların yanı sıra gayri kanuni olaylara karışan araçların takibide yapılabilmektedir [9]. Yine bu sayede yasadışı bir faaliyete karışacak araçlar yapacakları eylem öncesinde takip edilebilmekte ve terör vb. eylemler önceden engellenebilmektedir. Bu anlamda yine konum bilgisinin önemi büyüktür. Ayrıca, güvenilir ve verimli bir hedef takibi için üstesinden gelinmesi gereken enerji verimliliği, doğruluk, tahmin ve kurtarma gibi çeşitli zorluklar vardır [10, 11]. Örneğin, sağlıkla ilgili uygulamalar hızlı ve güvenilir veri aktarımına ihtiyaç duyabilirken, akıllı ortamlarda uygulamaları izlemek amacıyla enerji anlamında verimli ve başarılı yöntemler gereklidir. Ayrıca ekonomik maliyet, donanım ve bağlantı hususları da verimli izleme için birer zorluk olmaktadır.
- Özellikle gezgin KAA yapılarında topoloji doğal olarak dinamiktir. Bunun temel sebebi ise enerjisi çabuk biten düğümlerin ömürlerini tüketmesidir. Bu düğümlerin devre dışı kalmasıyla kapsama alanı ile düğümler arası

bağlantıların kopması sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu tip durumlarda kapsama alanında haberleşmeye devam etmek ve bağlantıyı sağlamak üzere KAA yapısına yeni düğümler eklenmesi söz konusu olur. Bu konuyla ilgili çeşitli çalışmalarda yapılmıştır [12, 13]. Buradaki gerçekleştirilmesi gereken iş ise coğrafi yönlendirme (routing) olmaktadır. Coğrafi yönlendirme için ise düğümlerin konum takibi ve bunu müteakiben bu konum bilgilerinin toplanması gerekmektedir [14]. Kısaca lokalizasyon bir KAA yapısında veri yönlendirmesi içinde gerekli olabilecek bir fonksiyondur.

Lokalizasyon yöntemleri için gereksinimler esas olarak gerçekleştirilen uygulamanın yazılımsal veya donanımsal özelliklerine göre değişmektedir. Lokalizasyonun ihtiva ettiği temel özelliklerin bazıları aşağıdaki gibidir.

- Bölgesel ve Uzaktan Lokalizasyon: Bölgesel lokalizasyonda kendi konumunu bilen düğümler kullanılırken, uzaktan lokalizasyonda yapılan haberleşme ile konum tahmini yapan cihazlar baz istasyonlarıdır. İki çeşit arasındaki temel ilgili hesaplamaların nerede olduğudur. Uzaktan lokalizasyonda baz istasyonla iletişim olduğundan maliyet ve ölçeklenebilirlik konuları öne çıkmaktadır.
- Kesin ve Göreceli Konumlar: GPS teknolojisi ile nesnenin Dünya üzerindeki konumu kesin olarak bilinebilmekle beraber iç mekânlar gibi GPS teknolojisinin kullanılmadığı yerlerde göreceli konumlar kullanılmaktadır. Bu tip koordinatlar bir ağ içerisinde başarılı olabilmekle beraber kesin koordinatlarla yüksek derecede yanlışlık verebilmektedir.
- Maliyet: Kablosuz düğümlerin lokalizasyon için ek bir donanım gerektirmemesi gerekir. Aksi bir durum hem maliyeti hem de düğüm boyutunu etkiler.

Aktif ve Pasif Lokalizasyon: Aktif lokalizasyonda konumu bilinmeyen düğümler algoritma veya yöntem içinde kullanılırken, pasif lokalizasyonda ise konumu bilinmeyen düğümlere yöntem içinde ihtiyaç duyulmamaktadır.

Lokalizasyonun söz konusu özellikleri sayesinde lokalizasyonun verimi ve başarısı kendisine konu içinde yer bulur. Bu verim ve başarı için ise çapa düğüm yerleşimi büyük önem arz eder. Bu tezin temel hedefi ise KAA'da bu çapa düğüm yerleşiminin verimli bir lokalizasyon için gerçekleştirilmesidir. Söz konusu hedef gerçekleştirilirken küçük boyutlu KAA kullanılan literatürdeki çalışmalardan [15, 16] farklı olarak, daha büyük boyutlu ve yüksek sayıda düğüm içeren KAA yapıları üzerinde çalışılmıştır.

1.2. KAA Yapıları

KAA düğümleri birbirleriyle rf (radyo frekanslı elektromanyetik dalga) iletişim ortamında çeşitli ağ iletişim protokollerine göre haberleşen birçok algılayıcı düğümünden oluşmuş kablosuz bir ağ yapısıdır. Kullanılan kablosuz algılayıcı düğümleri; mikro duyargalar ve ADC'ler (Analog Digital Converter), işaretlerin ön işlenmesi ve telsiz iletişimi protokollerinin yürütülmesini sağlayan, üzerinde işletim sistemi barındıran mikroişlemci ile rf ünitesi ve güç biriminden oluşmaktadır [17]. Algılayıcı düğümleri algıladıkları ortamsal verileri, mikroişlemcileri vasıtasıyla ön işlenmeden geçirip kablosuz ortamda bulunan diğer düğümlere iletebilirler [18, 3]. Algılayıcı düğümlerinin yerleşim durumlarının önceden hesaplanması ihtiyacı yoktur. Bu aynı zamanda KAA protokol ve algoritmalarının kendi kendini organize etme yeteneğine sahip olmaları demektir. Bu özellikler KAA'ların, haberleşme yapılamayan ve afet bölgelerinde kullanımda kalabilmesini sağlar.

1.2.1. KAA Yapılarının Sınıflandırılması

KAA yapıları, farklı hesaplama ve algılama yeteneklerine sahip farklı algılayıcı düğüm türlerinden oluşur. Bunun yanı sıra, kullanımları da uygulamaya özeldir ve operasyonel yeteneklerine göre karakterize etmek önemlidir. KAA yapıları genel olarak 4 türde kategorize edilebilirler.

- Homojen KAA'lar: Bu tür ağlar, özdeş algılayıcı düğümlerinden oluşur ve tüm algılayıcı düğümlerin fonksiyonlarının neredeyse aynı zamanda sona ermesini sağlar.

- Heterojen KAA'lar: Bu tür ağlar, sistemin ölçeklenebilirliğini iyileştirmek ve ayrıca daha yüksek bant genişliği uygulamalarını desteklemek için ağların enerji tüketimini azaltmak için birden fazla algılayıcı düğümü türünden oluşur.

- Yapılandırılmamış KAA'lar: Bu tür ağlar, geçici bir şekilde yerleştirilmiş yoğun bir algılayıcı düğümleri yığından oluşur. Ağ dağıtıldıktan sonra; izleme ve algılama yapmak için gözetimsiz bırakılır. Bununla birlikte, bu ağlarda bakım ve arıza teşhisinin yönetilmesi zordur.

- Yapılandırılmış KAA'lar: Bu tür ağlarda, algılayıcı düğümlerinin tümü veya bir kısmı önceden planlanmış bir şekilde konuşlandırılır. Yapılandırılmış konuşlandırma, düşük bakım, düşük maliyet ve yüksek doğruluk avantajı sağlar.

1.2.2. KAA Çeşitleri

KAA'ların konuşlandırılması esas olarak ortama ve uygulamalarına bağlıdır, bu ağlar genellikle karada, yeraltında ve su altında konuşlandırılır. Bu ağların çeşitli yerleşimleri, bunları aşağıda açıklanan beş türe ayırır.

- Karasal KAA'lar: İlgili bir olayı izlemek ve algılamak için önceden planlanmış bir şekilde belirli bir alanda konuşlandırılan binlerce ucuz kablosuz algılayıcı düğümünden oluşurlar.

- Yeraltı KAA'ları: Bu ağlardaki algılayıcı düğümleri yer altına, bir mağaraya veya bir madene gömülüdür ve yer altı koşullarını kontrol etmek için kullanılır. Tamamlayıcı algılayıcı düğümleri, bu ağ düğümlerinden alınan bilgileri bir baz istasyonuna iletmek için yerin üzerinde konuşlandırılır.

- Sualtı KAA'ları: Bu tür ağlardaki algılayıcı düğümleri, karasal KAA'lardan farklı olarak su altında konuşlandırılır. Su altı KAA'ları daha maliyetlidir ve genellikle birkaç algılayıcı düğümü ve bu algılayıcı düğümlerinden araştırma veya veri toplama için kullanılan bağımsız deniz araçlarıyla birlikte konuşlandırılır.

- Multimedya KAA'lar: Bu ağlar, video, ses ve görüntüleme gibi multimedya biçimindeki olayların izlenmesini sağlar. Multimedya KAA yapıları, kameralar ve mikrofonlarla donatılmış algılayıcı düğümlerinden oluşur ve kablosuz bir bağlantı üzerinden birbirine bağlanır. Multimedya KAA'lar, garantili kapsama alanı ve gelişmiş uygulamalar için önceden planlanmış bir tarzda konuşlandırılır.

- Gezgin KAA'lar: Fiziksel ortamla etkileşim kurmak için kendi başlarına hareket edebilen algılayıcı düğümlerinin bir koleksiyonudur. Mobil algılayıcı düğümleri, statik düğümler gibi algılama, hesaplama ve iletişim kurma ve ayrıca kendilerini ağda organize etme becerisine sahiptir. Gezgin düğümler tarafından toplanan bilgiler, birbirlerinin iletişim mesafesi içinde olmaları koşuluyla diğer gezgin düğümlere kolaylıkla iletilebilir.

1.2.3. KAA Uygulama Alanları

Habitat Uygulamaları: Habitat izleme çalışmaları genellikle hayvan davranışını daha iyi anlamak için veri toplamaya odaklanır. Örnek olarak belirli bir kuş türünün yuvalama alışkanlıklarını izlemek için KAA yapısını Great Duck Adası'na yerleştiren araştırmacılar, incelenen tüm literatürden bir KAA yerleştirmenin pratik zorluklarının iyi bir analizini

yapmışlardır [4]. Habitat izleme uygulamaları, açık havada düğümlerin konuşlandırılması, uzun ömür gereksinimleri, veri iletimi için uzun mesafeler ve yaban hayatı ile ilgili pratik zorluklar nedeniyle özellikle zorluğa sahip olan uygulamalardır. Tüm düğümlerden daha az veri toplama gerçekleşmiş ve proje açıklamalarında hedeflenenden daha az analiz yapılmıştır. Başka uygulamalarda ise Porsukları izleyen iki KAA yerleşimi, yeraltı algılama ve iletişim açısından ek bir zorluğa sahiptir [19, 20].

Giyilebilir Algılayıcı Düğümler: Giyilebilir algılama sistemleri, giyilebilir cihazların hızla geliştirilmesi ve benimsenmesi ile KAA yapılarının en hızlı değişen kategorisi olarak adlandırılabilir. Bu sınıf için en yaygın hedef, kalp hızı ve kan oksijeni gibi yaşamsal bulguları izlemek olmaktadır [21, 22]. Bunlara yine örnek olarak Baret projesi, geleneksel tıbbi tanı araçlarını yeni form faktörlerine entegre etmeye yönelik ortaya çıkan bir eğilime örnek teşkil etmektedir [23]. Piyasada Fitbit, UP, Shine ve Apple Watch gibi giyilebilir ve popüler teknolojiler mevcuttur. Kullanıcılar genellikle bu cihazları bileklerine takarlar ve cihazlar, aktivite ve hareketi ölçmek için ivmeölçerler, jiroskoplar ve manyetometreler kullanırlar. Bazı cihazlarda ayrıca kalp atış hızı ve kan oksijen seviyeleri gibi hayati parametreleri izlemek için algılayıcılar kullanılır.

Ticari giyilebilir cihazlar, diğer uygulama örneklerinin çoğu ile aynı anlamda ağa bağlı değildir. Giyilebilir cihazlardan bazıları, akıllı telefon bağlantıları aracılığıyla gerçek zamanlı olarak hücresele ağlara bağlanır. Bazılarında ise, cihaz donanımında depolanan verileri almak için belirli senkronizasyon eylemleri gerekmektedir.

Yapısal Sağlık Görüntüleme (YSG): YSG uygulamaları için en yaygın kullanılan algılayıcı, yapısal elemanların titreşim genliğini ve frekanslarını ölçmek için kullanılan ivmeölçerler olmaktadır. Abutment Köprüsü konuşlandırmasında ivmeölçer verileri, analizin köprünün temel titreşim durumlarını bulmasını ve yapısal davranışı modellemesini sağlamıştır [24]. İvmeölçer performans ölçütleri söz konusu çalışmada sunulmuştur. Olabilecek en büyük ölçüde ve en kapsamlı algılayıcı konuşlandırılması, Hong Kong'daki Tsing Ma Kontrol Alanındaki iki kablo köprüsü olmaktadır [25]. Mühendisler, sıcaklık, hava hızı, araç trafiği ve ağırlığı, köprünün konumsal yer değiştirmesi ve yapısal titreşimleri izlemek için çok çeşitli MEMS ve makro ölçekli algılayıcıları kullanmışlardır. Söz konusu köprü için, beton ve çelik yapı elemanlarına monte edilmiş 339 sıcaklık algılayıcısı dahil olmak üzere toplam 543 algılayıcı kullanılmıştır.

İç Mekan Uygulamaları: Bu alandaki uygulamaların çoğunun amacı, algılayıcı verilerine dayalı olarak elektrik gücünü verimli bir şekilde kontrol eden akıllı ofis binaları

alanındadır. Elektrik fiş adaptörleri ve algılayıcıları, belirli cihazların [26, 27, 28] güç tüketimini veya akıllı güç sayaçlarından veya kontrol birimlerinden gelen verileri ölçmek için kullanılır [29]. Diğer iki uygulama, güvenlik için eşzamanlı bağımsız yaşama ve yakın izleme sağlamak için evde yaşlıların izlenmesini ele almaktadır [30, 31]. Uygulamalar için en büyük algılama zorluğu, bina içindeki insanların konumunu doğru bir şekilde tespit etmektir. Araştırmacılar, oda doluluğunu tespit etmek için kızılötesi yakınlık algılayıcılarını, döşeme altlarındaki kuvvet algılayıcılarını, ortam ışığı algılayıcılarını ve kapılara manyetik anahtarlar yerleştirmişlerdir. Heterojen akıllı ev projesi, ev sakinlerinin konumunu tahmin için RF alıcı-vericileri kullanmışlardır [32]. Oda doluluğuna genel bir yaklaşım, insan hareketini algılamak için bir kızılötesi yakınlık algılayıcısının ve kapıların açılıp kapanmasını algılamak için ise manyetik bir algılayıcının verilerini birleştirmek olmuştur [29].

Çevresel Uygulamalar: Çevresel uygulamaların çoğunun amacı, yüksek uzaysal yoğunluklu hava durumu bilgisi sağlamaktır. Channel adaları ile ilgili olarak yapılan çalışmada, ulusal hava durumu hizmeti izleme sistemi için çeşitli algılayıcılar kullanılmakta ve bir çevresel izleme uygulamasında [33] olabilecek en yüksek seviyelerde algılayıcı performansı söz konusu olmuştur. Araştırmacılar büyük çoğunluğu rüzgar hızı, yön ve yağış algılayıcıları olmak üzere sıcaklık ve nem gibi diğer algılayıcıları bu çalışmada kullanmıştır.

Sıcaklık ve nem, bir hava durumu sistemi için mevcut olan en yaygın ölçülen parametrelerdir. Tarımsal konuşlandırmalar veya yerleşimler için toprak nemi ve sıcaklığı da ayrıca ölçülen parametreler olmuştur. Basınç algılayıcıları kullanıma hazır ve kablosuz düğüm donanımına entegre edilmesi kolay olmaktadır. Rüzgar hızı ve yönü izleme, kompakt bir düğüm için basit bir uygulama olmamakla beraber ve ek mühendislik tasarlama, uygulama ve değerlendirmesi gerektirir.

Durum İzleme Uygulamaları: Sivil ve askeri durum izleme uygulamaları mevcuttur. Bu çeşit izleme uygulamaları çoğunlukla, bir tankın yakınlığını tespit etmek veya geçen nesnelere siviller, askerler veya araçlar olarak sınıflandırmak [23] gibi savunma ve gözetim faaliyetlerine odaklanmıştır [34]. Savunma uygulamaları için, en yaygın algılama yöntemleri, büyük metal nesnelere algılamak için kullanılan manyetik alan teknikleridir. Askeri uygulamalarda, KAA yapılarının hiçbiri için yüksek kaliteli deneysel algılama yetenekleri gösterilmemiştir. Amaçlanan uygulamalar için performans gereksinimlerinin kesin bir sonucu, bulguların çoğunda rapor edilmemiştir. Askeri olmayan uygulamalar

arasında park yerlerinin doluluğunun tespit edilmesi [35], tünel aydınlatmasının izlenmesi [36] ve bir volkanın yakınındaki sismik aktivitenin ölçülmesi [37] bulunmaktadır.

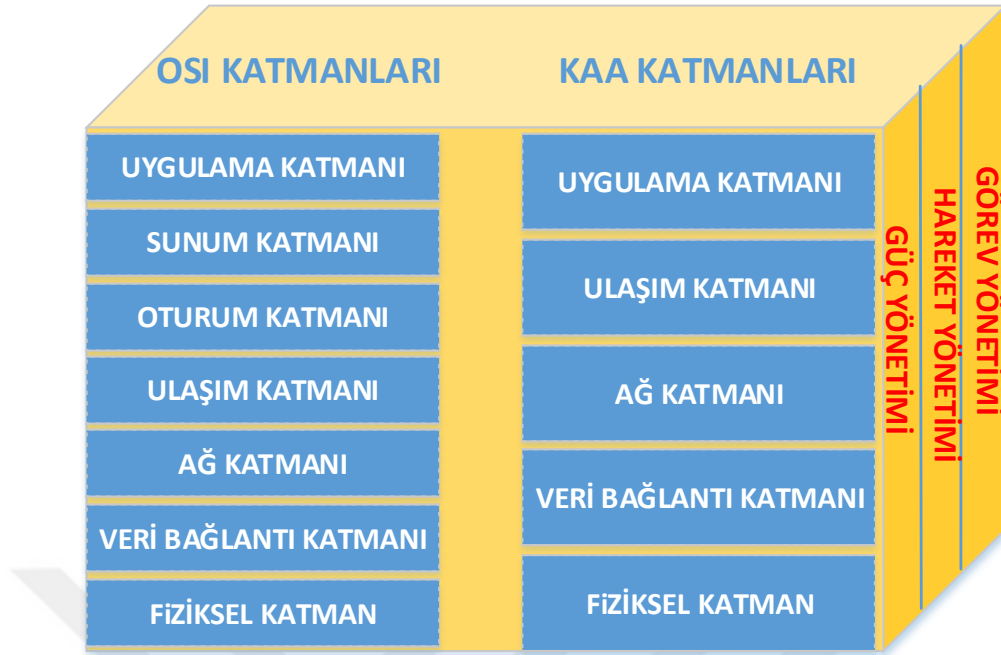
Gaz Analizi Uygulamaları: Algılayıcı tasarımı ve performans analizi üzerine geniş bir kimyasal gaz algılama araştırma geçmişi vardır, ancak ağ uygulamalarında kullanılan kimyasal algılayıcı hakkında nispeten az sayıda makale vardır. Söz konusu projelerden üçü toksik ve tehlikeli gazların izlenmesi için gerçekleştirilmiştir [38, 39]. Balık bozunumunu anlama projesi kapsamında çeşitli alkoller yine başka bir çalışmanın inceleme konusudur [40]. Çevre kategorisindeki iki tarımsal uygulama için ise CO₂ seviyeleri de izlenmiştir [41, 42].

1.2.4. KAA Protokol Temelleri

Neredeyse tüm iletişim protokolleri, açık sistem ara bağlantısı (OSI) modelinin yedi katmanına dayanmaktadır. Aynı şekilde KAA'nın iletişim mimarisi farklı olarak sınıflandırılabilir katmanlar mevcuttur. Bununla birlikte KAA OSI modelinin katmanlarına o kadar yakın değildir. OSI modelinin mimarisi diğer ağlar gibi KAA modelini de etkilemiştir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi protokol yığını, fiziksel, veri bağlantısı, ağ, taşıma ve uygulama katmanı gibi kabaca beş ana katmana ayrılabilir. Bununla birlikte, katmanlı model, çeşitli protokolleri, saldırıları ve savunmaları kategorize etmek için KAA içinde uygundur.

Her katman, yukarıdaki katmana hizmetler sağlar ve aşağıdaki katmandan istifade eder.

- Fiziksel katman, sağlam modülasyon, iletim ve alma teknikleri sağlamalıdır.
- Veri bağlantı katmanındaki Ortam Erişim Kontrolü (MAC) kuralı, gücü dikkate almalı ve etkileri en aza indirmeye hazır olmalıdır; uzak kanalın ardından, gürültüye karşı savunmasızdır ve algılayıcı tarafları çok yönlü olabilir.
- Ağ katmanı, verilerin yönlendirilmesinden, özellikle ağda veri göndermek için yolların seçilmesinden sorumludur.



Şekil 1. OSI ve KAA Katmanları

- Taşıma katmanı, veri akışının korunmasına yardımcı olur. Bu katman, özellikle sisteme İnternet veya diğer harici ağlar üzerinden erişilmesi planlandığında gereklidir. İletim Kontrol Protokolü (TCP) ve Kullanıcı Datagram Protokolü (UDP) gibi protokollerin aksine, KAA'nın çoklu atlama iletişim şeması genel adreslemeye dayalı değildir. Bu nedenle, muhtemelen havuzlarda uçtan uca iletişimi bölen yeni şemalara ihtiyaç duyulabilir.

- Uygulama katmanı, standart bir hizmet kümesini ve arabirim ilkelerini tanımlar. Bir örnek olarak, Sensör Ağ Hizmetleri Platformu (SNSP) olarak adlandırılır. Bu beş katman ortogonal olarak, algılayıcı düğümleri arasında güç, hareket ve görev dağılımını izlemekten sorumlu güç, hareketlilik ve görev yönetimi durumlarını tanımlar. Bu uçaklar, algılayıcı düğümlerinin sensör görevlerini koordine etmesine yardımcı olur ve genel güç tüketimini azaltır.

1.2.5. KAA Yapıları

KAA yapılarında radyo haberleşmesi için geliştirilen çeşitli topolojiler kullanılır. Aşağıda ilgili topoloji çeşitleri kısaca anlatılmaktadır.

Yıldız Topoloji Ağı: Bu ağ sisteminde bir baz istasyon veya çapa düğüm bulunup çok sayıda uzaktan erişilebilen algılayıcı düğüme mesajlar iletilmektedir. Bu ağ çeşidinde baz

istasyonu özelliği taşımayan diğer algılayıcı düğümler kendi aralarında haberleşemezler. Sistemin basit olması ve uzaktaki düğümlerin enerji tüketiminin düşük seviyede olması avantajlar olarak ifade edilebilir. Dezavantajları ise uzaktaki düğümlerin hepsinin radyo haberleşme uzaklığı içerisinde bulunması zorunluluğu ve tek merkezi düğümün bütün haberleşme ağını yönetme karmaşıklığıdır.

Örgü Topoloji Ağı: Bu çeşit ağ yapısında kapsama alanında ve ağ içinde bulunan düğümlerden birinden diğerine direkt olarak veri iletimi sağlanır. Çok basamaklı haberleşmeye imkân veren bu yapı sayesinde, eğer bir düğüm ağ dışında bir düğüme veri göndermek isterse iletim sahası içindeki bir diğer düğüme yönlendirme yapıp onun üstünden haberleşme sağlanabilir. Bu topoloji sayesinde diğer veri iletimleri için ihtiyaç fazlası düğümler ortaya çıkabilir ve ağın ölçeklenmesi yapılabilir. Ayrıca eğer bir düğüm arızalanırsa iletim mesafesi içindeki diğer bir düğüm üzerinden hedefle iletişim sağlanabilir. Bir diğer durumda ise sisteme yeni düğümler eklenerek ağın ve haberleşme mesafesinin genişlemesi sağlanabilir. Sistemin dezavantajı ise çok basamaklı iletişim durumunda, kısıtlı pil durumu dolayısıyla enerji tüketim durumudur. Bir diğer olumsuz nokta ise mesafe vb. şartlara bağlı olarak değişen basamak sayısı arttığında mesajın iletim zamanı artmaktadır.

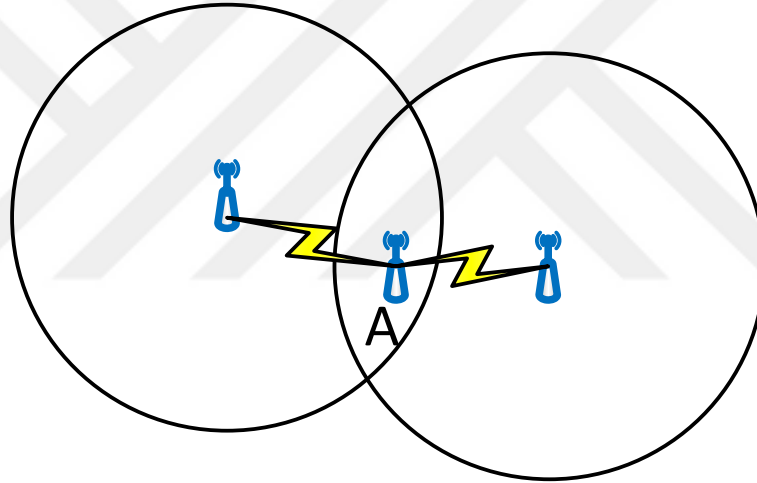
Hibrid Yıldız Haberleşme Ağı: Bu yapıda değişkenlik sağlanabilirken, aynı zamanda düşük enerji tüketimi gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamada en düşük seviyedeki düğümler veri iletimi yapmamaktadırlar. Bu sayede düşük enerji tüketimi sağlanmaktadır. Ayrıca çok basamaklı haberleşme yapabilen ağ içindeki diğer düğümler, verileri düşük enerjili düğümlerden diğer düğümlere iletirler. Genellikle çok basamaklı haberleşme yapabilen düğümler daha yüksek miktarda enerji harcadığı için elektrik şebekesine bağlı olmaktadır. ZigBee düğümlerinde kullanılmakta olan ağ çeşididir.

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme: KAA içinde olan düğümler düşük enerjiyle kablosuz iletişim sağladıkları için kapsama alanları nispeten küçüktür. Bilindiği üzere bir düğüm komşu düğümlerin kapsama alanı içinde ise onlarla haberleşme yapabilir. Şekil 2’de görüleceği üzere C ve B düğümlerinin iletişim halinde olması için A düğümünün yönlendirmeyi sağlaması gerekmektedir. Bu sebeple bu ağ yapısı içinde yönlendirilmeye ihtiyaç vardır.

KAA yapısındaki düğümler birbirleriyle direkt olarak haberleşmeyebilirler. Algıladıkları fiziksel veya başka çeşit parametreleri çapa düğümlere iletilmektedirler. KAA içindeki çok sayıda düğümün bir çapa düğüme irtibatlı olduğu akla gelirse N adet düğümden

çapa düğüme doğru yönlendirme yapılmaktadır. Yani KAA yapısında N adet algılayıcı düğümler ve en az 1 adet çapa düğümler veya baz istasyonu mevcuttur.

Klasik haberleşme protokolleri KAA içinde tüm düğümlerin haberleştiği düşünülerek icra edilmişlerdir. Daha önce de bahsedildiği üzere KAA yapılarında düğümler periyodik olarak ölçtükleri veya algıladıkları verileri iletmektedirler. Özellikle saha, doğa ölçümleri vb. algılanan fiziksel değerler belli bir eşik değer üzerinde olduğu takdirde ilgili düğümler tarafından komşu düğümlere gönderilmektedir. KAA içindeki bir düğümler tarafından ölçülen sıcaklık değerinin belli bir eşik değerinden fazla olması diğer bir deyişle toprağın kuraklığını göstermesi, bunu müteakip ilgili sulama sisteminin bu eksikliği giderecek kadar toprağı sulayabilmesi bu anlamda güzel bir örnek teşkil eder. Periyodik sistemlerde bu düğümler söz konusu ölçümleri periyodik olarak diğer düğümlere göndermektedir.



Şekil 2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme

1.3. Lokalizasyona Dair Temel Bilgiler

Konuyla ilgili ayrıntılı bilgi verilmeden önce ilgili terimler aşağıdaki gibi verilebilir [43].

Çapa (İşaret) Düğümler: Küresel koordinat sisteminde konumlarını ya GPS'ten alarak ya da yerleştirildikleri konumu kullanarak bir KAA'nın lokalizasyonunda etkin olan düğümlerdir.

Konumu Bilinmeyen (Sıradan) Düğümler: Konumu bilinmeyen ve çapa düğümler yardımıyla konumları tahmin edilebilen düğümlerdir.

Statik Çapa Düğümler: İlk yerleşimden sonra hareket edemeyen çapa düğümlerdir.

Gezgin Çapa Düğümü: İlk yerleşimden sonra otomatik olarak hareket edebilen çapa düğümdür.

Çapa (Beacon) Paketi: Gezgin Çapa düğümleri tarafından periyodik olarak yayınlanan veri paketi.

Çapa (Beacon) Noktası: Gezgin Çapa düğümleri tarafından periyodik olarak yayınlanan veri paketinde yer alan çapaya ait konum bilgisi.

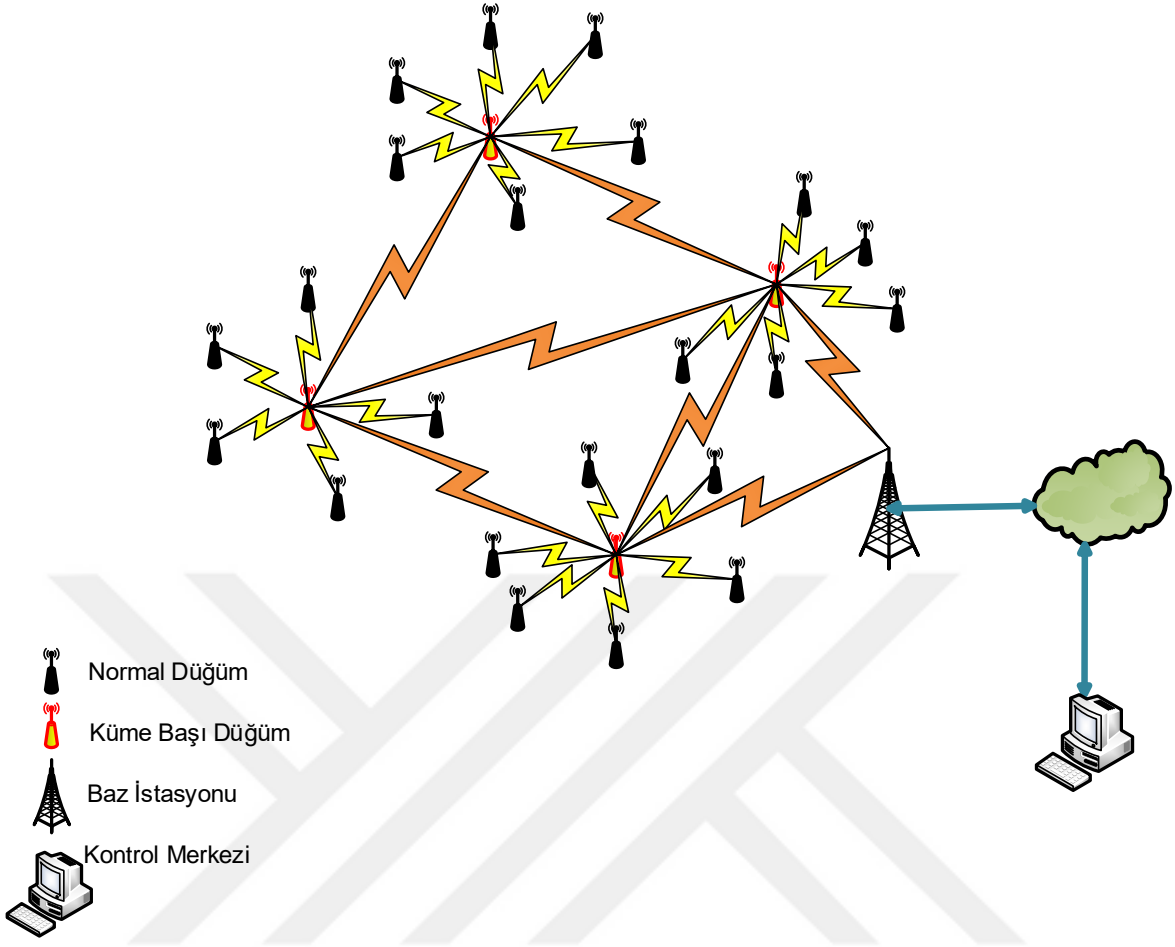
Zamansal Yayın Aralığı: Gezgin Çapa düğümleri tarafından yayınlanan veri paketinin yayınlanma periyodu.

Düğüm Hızı: Birim zamandaki düğüm hızı.

Düğüm Yönü: Gezgin düğümün hareket yönü.

1.3.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar ve Lokalizasyonda Karşılaşılabilecek Zorluklar

Ağın verimi yüksek sayıdaki kablosuz düğümden gelen veri miktarına göre değişebilir. Bazı düğümleri küme başı yapmak bu sorunu çözmek için gerekli bir yöntemdir. Söz konusu veriler küme başlarında toplanıp tekniklere veya denklemlere göre değerlendirilir. KAA tasarlarken bazı faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar sırasıyla; ölçeklenebilirlik, hata toleransı üretim maliyeti, algılayıcı ağ topolojisi, ortam, fiziksel sınırlar ve güç tüketimidir. Hata toleransı, bir algılayıcının arıza verdiği durumda ağa dair fonksiyonları yerine getirebilme kabiliyetidir. Özellikle büyük ölçekli KAA yapılarında algılayıcı düğüm yoğunlukları fazla olabilir. Bu yapıya dâhil olan yeni veya ağdan çıkan düğümler sistem tarafından algılanabilmelidir. Ayrıca bu iki durumda da KAA Yapısı ölçeklenebilmelidir. Yine bu konuda dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise enerjidir. Enerji tüketiminin bu kadar önem arz ettiği durumda, tasarruf ve enerji yönetimi noktalarına dikkat edilmelidir. Son zamanlarda enerji tüketimi anlamında verimi artıracak algoritma ve protokoller üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimi, algılama, haberleşme ve veri işlemleri ayrı ayrı incelenmektedir. Bir algılayıcı düğümde icra edilen komut başına düşen enerji tüketimi dikkat edilmesi gereken bir husustur. KAA teknolojilerini gerçekleştirmek için; donanım tasarımı, tasarım ve iletişim protokolleri noktalarında zorluklar olabilmektedir. Şekil 3’de genel KAA yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) Genel Yapısı

KAA yapısının yaşam ömrünü uzatmak ve zeki veri toplama sistemleri kurmak bu zorluklardan ikisi olmaktadır. Diğer oluşabilecek zorluklar ise şu şekilde listenebilir:

- KAA topolojileri çok sık değişebilir.
- KAA düğümleri kısıtlı enerji, hesaplama ve hafıza birimlerine sahiptirler.
- Düğümler bozulmaya veya arıza vermeye eğilimlidir.
- Büyük ölçekli KAA yapılarında düğümler bazen kimlik (ID) sahibi olmayabilirler.
- Yine büyük ölçekli KAA yapılarında düğümler çok fazla sayılda bulduklarından dolayı, iletişim trafiğinde tıkanma veya çarpışmalar olabilmektedir.
- Gezgin sistemin, sonuç dağıtımı ve düğümlerin bağlantısallığını (connectivity) tanımlaması ve sağlaması gerekir.
- Devingen ortam durumlarında, sistem zamanla bağlantısallık ve uyarlanabilirlik fonksiyonuna ihtiyaç duyabilir.

Yukarıdaki sistemsel tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlara ek olarak lokalizasyon esnasında karşılaşılabilecek sıkıntılarda mevcuttur.

- Mesafe Ölçme: Literatürde Time of Arrival (TOA) olarak bilinen yöntemde radyo frekansı işaretleri ışık hızı ile hareket ettiğinden ötürü algılayıcı ağda bulunan düğümler arasında çok hassas ve kesinliği yüksek bir senkronizasyon bulunmak zorundadır. Bu yüzden özellikle yakın mesafe ölçümlerin gerçekleştirilebileceği durumlarda radyo dalgalarına göre daha düşük hıza sahip ultrasonik ve akustik işaretler ile ölçümler gerçekleştirilmektedir.

Yine ayrıca gezgin KAA yapılarında karşılaşılabilecek zorluklar şöyle özetlenebilir. Büyük ölçekli bir kablosuz algılayıcı ağında, gezgin algılayıcılar bir yerden bir yere hareket ettikçe, konumunu belirlemek için sık sık lokalizasyon yapılmalıdır. Gezgin algılayıcı düğümü lokalizasyonundaki bazı sorunlar şunlardır:

1. Kısıtlama kontrol stratejileri,
2. Algılayıcı düğüm iletişim kısıtlamaları,
3. Her algılayıcı için komşu sayısı (düğüm derecesi),
4. Kısıtlama kontrol stratejisine göre her bir gezgin algılayıcı düğümün gidebileceği maksimum mesafe,
5. Her bir gezgin algılayıcı düğüm için lokalizasyonun yapılması gereken zaman aralığı,
6. Komşu düğümlerin hareket hızı,
7. Komşusu tarafından verilen konum bilgisi hakkında kesinlik.

Gezgin algılayıcı düğümlerin lokalizasyonu için geliştirilecek yazılım, yukarıda belirtilen tüm temel konuları dikkate almalıdır.

1.3.2. Lokalizasyonda Kullanılan Temel Teknolojiler

GPS: Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), algılayıcı düğümü lokalizasyonu için en yaygın kullanılan ve hassas yöntemdir. Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), en basit haliyle, dünya yüzeyindeki konumu belirlemek için kullanılan bir uydu ağıdır. Çalışma prensibi, cihazlar ve uydular arasındaki farkları hesaplayarak konum belirlemeye dayanmaktadır [44]. GPS uydu ağı, ABD Savunma Bakanlığı'na aittir ve sürekli olarak tahmin ettikleri konum bilgilerini Dünya'ya iletir. Hesaplama işlemi için, varış zamanı (TOA) adı verilen bir teknik kullanılır ve sonuç olarak, GPS alıcısı kendi konumunun enlem,

boylam ve yüksekliğini bulur. Ancak sinyal iletimi sırasında uyduların hareketliliğinden dolayı zaman senkronizasyon sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu sorun her GPS uydusunun içerdiği bir atom saatinden yararlanılarak çözülür. Bu saati kullanarak, uydular veya uydu ile alıcı arasındaki herhangi bir zaman gecikmesi önenebilir.

Ne yazık ki, KAA'lardaki maliyet, sınırlı güç kaynağı vb. sebeplerle GPS çözümü her zaman iyi performans göstermez. Ayrıca, GPS ile donatılmış algılayıcı düğümlerinin sahaya yerleşebilme yeteneği, artan boyut nedeniyle kısıtlanabilir. Son olarak, GPS donanımlı bu algılayıcı düğümlerinin uygulanabilirliği sınırlıdır çünkü GPS yalnızca açık alanda çalışmaktadır. Soruna daha makul bir çözüm, konum bilgilerine sahip (GPS ile donatılmış veya sabit bir konuma kurulmuş) çapa düğümlerinin sayıca ağ içinde daha düşük oranda bulunmasıdır. Diferansiyel GPS (DGPS), GPS uydularının yanı sıra referans yer istasyonlarını kullanan gelişmiş bir GPS yöntemidir [45]. Bu yöntem, uydu ve gerçek sahte uzaklıklar arasındaki farkı belirlemeye dayanmaktadır. Ayrıca bu istasyonlar söz konusu farkı diğer istasyonlara iletmekte ve bu farklar bir düzeltme sinyali olarak değerlendirilmektedir. Bu şekilde lokalizasyon hatası metre seviyesinden santimetre düzeyine düşürülmektedir.

Donanımsal olarak çapa veya referans düğümlerinin konumlarının tespitinde GPS harici başka teknolojiler kullanılmakta ancak bunlar daha ziyade hareketsiz çapa düğümler olarak kullanılmaktadır. Bunlardan önemlileri mobil hücreli sistemler ve yol kenarı üniteleri (Road Side Unit-RSU) olmaktadır. Bu teknolojilere dair şunlar söylenebilir:

Gezgin hücreli sistemler: Gezgin hücreli sistemler, düzgün çalışması için kapalı bir bölgeye dağılmış birkaç hücreli baz istasyonundan oluşan bir iletişim altyapısı gerektirir [46]. Bir hücre, paraziti (girişimi) önlemek ve her hücrede üstün hizmet kalitesini sağlamak için tipik olarak komşu hücrelerden farklı bir frekans aralığı kullanır. Alan birleşimi sağlandığında, bu hücreler geniş bir coğrafi alanda radyo kapsama alanı sağlar. Bu bağlamda, farklı tipte taşınabilir alıcı-vericiler, örneğin gezgin geniş bant modemler, çağrı cihazları, cep telefonları, tabletler ve dizüstü bilgisayarlar, ağa erişebilir ve ağdaki herhangi bir yerde baz istasyonları üzerinden iletişim kurabilir. Hücreli ağlardaki baz istasyonları, yukarıda belirtilen cihazların konum tahmini için kullanılabilir. Bir hücreli ağ ile konumlandırmanın bir avantajı, tek bir vericinin çok sayıda bağlantı için kullanılabilmesidir. Diğer bir avantaj, gezgin cihazların bir vericiden veya uydudan daha az güç tüketmesidir.

Yol Kenarı Üniteleri: Özellikle trafikteki araçların lokalizasyonunda kullanılan yol kenarı üniteleri, yol kenarlarında bulunan sabit altyapı iletişim düğümleridir. Çalışmada

gösterildiği gibi, kooperatif ve kooperatif olmayan lokalizasyonlarda kullanılmaktadırlar [44]. Yol kenarı üniteleri, çarpışmadan kaçınma gibi hızlı yanıt gereksinimlerini karşılamak ve düşük gecikme süresine sahip olmak için genellikle yüksek frekanslı DSRC iletişimini (5,9 GHz) kullanır. GPS sinyalleri kolaylıkla kırılabilen veya engellenebilmekte ve bu nedenle RSU kullanımını, daha doğru bir lokalizasyon için oldukça yoğun trafik yollarında araçlar arası iletişime yardımcı olabilmektedir.

1.3.3. Düğümlerin Hareket Durumuna Göre Lokalizasyon Çeşitleri

Düğümlerin hareket durumlarına göre lokalizasyon çeşitleri şu şekilde kategorize edilebilir:

- Sabit Çapalar-Sabit Düğümler: KAA lokalizasyonunda, sabit çapa ve sabit düğüm tabanlı yöntemler, diğer üç kategoriye göre daha olgunlaşmış ve daha fazla inceleme konusu olmuştur [47]. Bu kategoride, lokalizasyon algoritmaları sabit çapa düğüm konumlarının bilgileri, mesafe ile açı ölçümleri ve bağlantı bilgileri gibi düğümler arası ölçümleri kullanarak sabit bilinmeyen düğümlerin konumlarını tahmin eder.
- Sabit Çapalar - Gezgin Düğümler: Bu yaklaşımda, bir dizi gezgin düğümün yerini belirlemek için az sayıda sabit çapa düğüm kullanılır. Burada tipik olarak çapalar, tavan veya duvar gibi göze batmayan bir konuma yerleştirilir ve periyodik olarak koordinat mesajlarını iletir. Mesajları alabilen bilinmeyen bir gezgin düğüm, kendi mevcut konumunu anlamak için bu mesajları kullanır.
- Gezgin Çapalar - Sabit Düğümler: Nispeten pahalı GPS destekli çapa düğümlerinin sayısını azaltmak için, gezgin çapa tabanlı lokalizasyon tekniği iyi bir tekniktir. Yönlendirilmiş hareket kabiliyetine sahip bir çapa düğümün, makul bir süre içinde küçük bir alanda etkili olabileceği anlaşılmıştır. Aksi durumda, geniş bir alanı kaplamak için birkaç hareketli çapa yeterli olacaktır.
- Gezgin Çapalar- Gezgin Düğümler: Bu kategoride, bir dizi gezgin düğümün yerini belirlemek için gezgin çapa düğümler kullanılır. Hem çapalar hem de düğümler gezgin olduğundan, bu kategoride kullanılan teknikler, konumu bilinmeyen düğümlerde hesaplama yükünün artması nedeniyle ek enerji tüketimi pahasına da olsa oldukça doğru konum tahmini vermiştir. Bu tür lokalizasyon tekniğinin tercih edildiği tipik uygulama alanları kentsel şehirlere aittir.

1.4. Tezin Motivasyonu

Çapaların iletim gücü, lokalizasyonda [48, 49], önemli bir rol oynar. Çünkü yalnızca lokalizasyon doğruluğunu değil, aynı zamanda bir ağın ömrünü ve veriminide etkiler. Bu nedenle, özellikle güç bütçesinin sınırlı olduğu bir senaryoda, kablosuz ağ lokalizasyonu için verimli bir güç dağıtım stratejisi çok önemlidir [50]. Bu doğrultuda lokalizasyon için seçilecek olan çapa düğümlerin sayısı ve pozisyonları önem arz etmektedir. Daha az sayıda çapa düğümlerle aynı sayıda düğümün lokalizasyonu yapılabilirse bu enerji kısıtlamasını aşmak ve ağ ömrünü uzun tutabilmek için önemli bir husus olacaktır. Özellikle büyük ölçekli KAA'larda, maliyet kısıtlamaları nedeniyle, düğümlere veya potansiyel konumlarına kıyasla yalnızca az sayıda çapa mevcuttur, böylece optimum çapa yerleşimi son derece dikkat çekici bir konu haline gelir. Ayrıca belirli bir alandaki düğümlerin daha az sayıda çapa düğüm ile lokalizasyonunun yapılabilmesi ilgili kapsama alanının verimli şekilde kullanılabilmesi açısından önemlidir [51]. Bu çalışmada yukarıdaki bilgi ve amaç doğrultusunda lokalizasyon için en verimli ve minimum sayıda çapa düğüm konumlarının ilgili periyot için tespiti yapılmaya çalışılmıştır.

Bu amaç gerçekleştirilirken yöntemin sade ve belirli bir boşluğu dolduracak kadar nitelikli olmasının yanında, yenilikçi olması ve çapa düğüm konum tespiti veya seçimi için hiç kullanılmamış optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Özellikle çapa düğüm konuşlandırılmasının yeni yöntemlerle denenmiş olmaması bu alandaki boşluğun doldurulması için bir gerekçe oluşturmuştur. Ayrıca daha önceki çalışmalar genel olarak var olan çapa düğümlerden seçilme fonksiyonunu yerine getirirken ağ içindeki çok az ve belirli parametreler dikkate alınmıştır. Bu çalışmayı güçlü kılan ve gerçekleşmesinde pay sahibi olan düşüncede ise çapa düğümlerin optimum yerleşimi için olabildiğince çok ancak lokalizasyonla ilgili parametrelerin kullanımı sağlanmış ve daha doğru lokalizasyon için verimli konuşlandırma fikri esas alınmıştır.

Daha az çapa düğümünün kullanımının yalnızca daha yüksek ağ ömrünü sağladığı yorumu elbette eksik bir yorum olacaktır. Elbette lokalizasyon için daha az işlem karmaşıklığı sağlanması beklenir. Bu çalışmanın bu anlamda sağlamış olduğu ilerlemede önemli bir hareket noktasıdır. Çalışmanın bütüncül yapısı çoklu yapısı literatürdeki diğer çalışmalara göre tamamen farklı olmaktadır. Bu sebepten çalışmada ilgili yöntemlerin çeşitli açılardan kendi aralarında mukayese edilmesinin yanında literatürdeki ilgili yöntemlerin

çalışmamızdaki ilgili kısımlarla mukayesesi sağlanmıştır. Bir diğer deyişle bütün bir yöntemi kıyas mümkün olmadığından parçaların veya alt yöntemlerin literatürle kıyası söz konusudur. Bu anlamda çalışma gerçekleştirilirken olabildiğince geniş bir yöntem üretilmeye gayret edilmiştir.

1.5. KAA Yapılarında Lokalizasyon Teknikleri

Önceki bölümde değinilen çalışmaların önemli bir kısmı, KAA yapılarını tanımaya, kullanım alanlarını irdelemeye, lokalizasyonda tuttuğu yere ait olmaktadır. Literatürde yer alan, çapa düğümlerle yapılan konum tahmin modellerinin optimizasyon bağlamında genellikle eksik olduğu ve çapa düğümlerin tedbirli bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu tespit, çalışmamızda önerilen çapa düğüm yöntemi için herhangi bir optimizasyon tahmin modeline başvurulmasına zemin oluşturmuştur.

Bu bölümde geliştirilecek çapa düğümü konuşlandırma yöntemi içinde kullanılacak olan alt kısımların literatürdeki karşılığı irdelenecektir. Böylece izlenecek yöntem öncesinde konuya daha derinlikli bir bakış sağlanacaktır. Bunun için öncelikli olarak lokalizasyon kavramı irdelenmeye devam edilecek ve KAA yapılarında lokalizasyonun sınıflandırılması anlatılacaktır. Çalışmamızın öznesi olan çapa düğüm kavramını detayları ile anlamak yöntemimizi anlamak adına kolaylık sağlayacaktır. Çapa düğüm seçim ve yerleşim kavramlarında yapılan çalışmalar ise yine daha sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Metasezgisel optimizasyon yöntemleriyle konumlandırmaya dair çalışmalara ise ayrıca yer verilecektir.

1.6. KAA Yapıları İçin Lokalizasyonun Sınıflandırılması

KAA yapıları için birçok lokalizasyon algoritması önerilmiştir. Bu bölümde, ilk olarak KAA'larda lokalizasyon tekniklerinin özelliklerine göre sınıflandırmaları yapılmaktadır. Ardından, uzaklık temelli yöntemler için önerilen algoritmaları sunan çalışmalar incelenmektedir ve son olarak uzaklıktan bağımsız yöntemlere odaklanan çalışmalar tartışılmaktadır.

1.6.1. Çapa Dügüm Tabanlı ve Çapa Dügümden Bağımsız Lokalizasyon

KAA'lar için lokalizasyon algoritmalarının ilk sınıflandırması, harici referans veya çapa düğümlerinin (yani bağlantı noktalarının) gerekip gerekmediği sorusuna dayanır. Çapa düğümler daha öncede bahsedildiği üzere genellikle ya entegre bir GPS alıcısına sahiptir ya da konumlarını elle yapılandırma ile bilirler. Kullanılan mutlak referans sistemindeki koordinatları sağlamak için diğer düğümler tarafından referans düğümler olarak kullanılırlar. Çapa tabanlı algoritmalar [52, 53], mutlak bir koordinat sistemi ile çakışacak şekilde göreceli bir koordinat sistemini döndürmek, çevirmek ve bazen ölçeklemek için çapa düğümleri kullanır. Bu tür algoritmalarda, düğümlerin bir kısmının çapa düğümleri olması gerekir veya yeterli sonuçlar için en azından minimum sayıda çapa düğümü gereklidir. İki boyutlu uzaylar için en az üç doğrusal olmayan çapa düğümü ve 3 boyutlu alanlar için dört düzlemsel olmayan çapa düğümü gereklidir.

Algılayıcı düğümlerinin son koordinat atamaları, bir küresel koordinat sistemine veya kullanılmakta olan herhangi bir başka koordinat sistemine göre geçerlidir. Çapa tabanlı algoritmaların bir dezavantajı, çapa düğümü konumlarını belirlemek için başka bir konumlandırma sisteminin gerekmesidir. Bu nedenle, bir konumlandırma sistemi, örneğin GPS için gerekli olan gökyüzünün net bir görüntüsünün olmadığı zamanlarda düzgün çalışmayabilir. Çapa düğüm tabanlı algoritmaların bir başka dezavantajı ise çapa düğümlerinin genellikle üzerlerine bir GPS alıcısı monte edilmesini gerektirdiklerinden pahalı olmalarıdır. Bu nedenle, birçok çapa düğümü gerektiren algoritmalar çok uygun maliyetli değildir. Konum bilgisi, sabitleme düğümlerine de sabit kodlanabilir, ancak bu durumda, erişilemeyen arazilerde çok pahalı ve hatta imkânsız olabilen sabitleme düğümlerinin dikkatli bir şekilde yerleştirilmesi gerekir.

Tam tersine, çapasız lokalizasyon algoritmaları [54, 55] çapa düğümleri gerektirmez. Bu algoritmalar, yalnızca göreceli düğüm konumlarını, yani algılayıcı düğümlerinin birbirine göre konumunu yansıtan düğüm konumlarını sağlar. Bazı uygulamalar için, bu tür göreceli koordinatlar yeterlidir. Örneğin, coğrafi yönlendirme protokollerinde, bir sonraki yönlendirme düğümü genellikle bir sonraki atlamanın hedefe fiziksel olarak daha yakın olmasını gerektiren bir mesafe ölçüsüne göre seçilir. Bu kriter, yalnızca göreceli koordinatlara göre değerlendirilebilir.

1.6.2. Merkezi Lokalizasyon ve Dağıtık Lokalizasyon

Lokalizasyon algoritmaları, hesaplama organizasyonlarına göre merkezi [56, 57] veya dağıtılmış [58, 59] algoritmalar olarakta kategorize edilebilir. Merkezi algoritmalarda, düğümler, hesaplamanın gerçekleştirildiği, her düğümün konumunun belirlendiği ve düğümlere geri gönderildiği merkezi bir konuma veri gönderir. Merkezi algoritmaların dezavantajları, yüksek iletişim maliyetleri ve içsel gecikmeleridir. Buna cevap olarak, gecikmeyi azaltmak ve algılayıcılar arası iletişim yoğunluğunu en aza indirmek için hesaplama yükünü ağ boyunca dağıtan dağıtılmış algoritmalar mevcuttur. Dağıtılmış algoritmalarda, her bir düğüm, komşu düğümleriyle iletişim yoluyla konumunu belirler. Genel olarak dağıtılmış algoritmalar, merkezi bir sunucuya konum bilgisi gönderip almaya gerek kalmadan, her bir düğüm komşularının yardımıyla yerel olarak kendi konumunu belirlediğinden daha güvenilir ve enerji tüketimi açısından daha verimli algoritmalar olarak görülebilir. Bununla birlikte, dağıtılmış algoritmaların uygulanması daha karmaşık olabilmekte ve bazen algılayıcı düğümlerinin sınırlı hesaplama yetenekleri nedeniyle icra edilemeyebilmektedir.

1.6.3. Bireysel Lokalizasyon ve İşbirlikçi Lokalizasyon

Lokalizasyon protokolleri, düğüm konumunun hesaplanmasına yönelik temel yaklaşımlarında da farklılık gösterir. Bir protokol sınıfında düğümler, diğer düğümlerden toplanan bilgileri kullanarak, tipik olarak üçleme, üçgenleme veya laterasyon [60] gibi yaklaşımları içermek kaydıyla, ayrı ayrı konumları belirler. Basit bir şekilde, bir düğümün konum koordinatlarını hesaplaması için en az üç çapa düğümüne doğrudan erişim gereklidir [61]. Yukarıdaki yöntemlerden herhangi birini kullanarak konum tahmini yapılırken, algoritmalar ağdaki çapa düğümlerinden başlamak ve konumlarını hesaplayan diğer tüm serbest düğümlere yaymak için sıklıkla yinelemeler (iterasyon) [62] kullanılır. Bu yaklaşımın sorunlarından biri, ağ bağlantı seviyesi çok yüksek olmadığında veya ağda yeterince iyi seçilmiş çapa düğümü bulunmadığında düşük başarı oranına sahip olmasıdır. Bir çalışmaya göre tüm düğümlerin lokalizasyonu için, bu algoritmalarda genellikle ağdaki toplam düğümlerin % 20 - % 40'ının çapa düğümleri olması gerekmektedir [63]. Ancak çapa düğümleri sinyal aralıklarını artıramazlar. Çok sayıda çapa düğümünün talep edilmesi sorununu çözmek için, bazı yaklaşımlar, birden fazla basamakta çapa düğümlerinin

erişimine izin vermek amacıyla sınırlı taşma uygulamaktadır. Buna göre öklid mesafesi olarak haberleşme uzaklığı üzerinden en kısa mesafelerin yaklaşıklığı kullanılır. Bununla birlikte, böyle bir atlama tabanlı mesafe yaklaşımı, anizotropik ağlarda oldukça zayıf bir şekilde çalışarak yüksek konum hatalarına sebep olur.

Birçok senaryoda, çapa düğümlerinin sayısını da önemli ölçüde azaltmadıkları görülmektedir. Bu tür algoritmaların başarısı için gerekli olan yüksek ağ bağlantı seviyeleri, yoğun nüfuslu yerleşim yerleri ve dolayısıyla binalar, genellikle kablosuz ağı verimlerini ciddi şekilde engellediğinden, gerçek hayatta kullanım zorluğuna yol açar. Çok sayıda çapa düğümü ve yüksek bağlantı seviyesi sorunlarına ek olarak, konum tahminlerinin doğruluğunu korumak için bu tür bir yaklaşımda [62] biriken konum hatalarının da ele alınması gerekir.

İşbirlikçi lokalizasyon yaklaşımı, lokalizasyon sorununu ortak tahmin yöntemleri ile çözmeye çalışarak oldukça farklı bir yaklaşım benimsemektedir. Üçleme (trilaterasyon), üçgenleme veya multilaterasyon tekniklerinde olduğu gibi yalnızca algılayıcı düğümleri ve çapa düğümleri arasındaki kısıtlamaları kullanmak yerine, işbirliğine dayalı çözümler, tüm düğümler arasındaki bağlantı ve mesafe kısıtlamalarını mümkün olduğunca birlikte kullanmaktadır. Bu yaklaşımda konum koordinatlarını türetmek için optimizasyon teknikleri uygulanmaktadır. Bu nedenle, işbirlikçi yöntem genellikle daha az çapa düğüme ihtiyaç duyulmakta ve daha iyi bir konum tahmini oluşturmak için daha fazla kısıtlama uygulanmaktadır. Çeşitli çalışmalarda [59, 53, 56]'da, düğüm konumları, çok boyutlu (multi-dimensional scaling) adlı bir teknik uygulanarak bağlantı kısıtlamaları vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

1.6.4. Uzaklık Tabanlı Lokalizasyon ve Uzaklıktan Bağımsız Lokalizasyon

Bir algılayıcı düğümünün konumunu belirlemek için uzaklıktan bağımsız [62, 64] ve uzaklığa dayalı [65, 66] lokalizasyon adlı iki tür teknik daha mevcuttur. Uzaklık içermeyen teknikler, düğümlerin konumunu tahmin etmek için komşu düğümler arasındaki bağlantı bilgilerini kullanırken, uzaklığa dayalı tekniklerde iki komşu düğüm arasındaki mesafeyi tahmin etmek için uzaklık bilgisi gerekmektedir.

Bir yandan, uzaklıktan bağımsız teknikler herhangi bir ek donanım gerektirmezken diğer yandan KAA'daki düğümlerin konumunu tahmin etmek için yakınlık bilgisini kullanmakta ve bu nedenle sınırlı hassasiyete sahip olmaktadır. Ayrıca, uzaklığa dayalı

teknikler, varış zamanı (TOA), varış açısı (AoA), alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) ve varış zamanı farkı (TDOA) gibi uzaklık ölçümlerini kullanır. Aşağıda bu iki çeşide ait bilgiler detaylıca verilmiştir.

1.6.4.1. Uzaklık Tabanlı Lokalizasyon

Uzaklığa dayalı lokalizasyon algoritmaları, yüksek düzeyde lokalizasyon doğruluğuna sahiptir. Ancak algılayıcı düğümler arasındaki mesafeyi ölçmek için genellikle daha fazla donanım gerektirirler. Tipik mesafe ölçüm teknikleri arasında RSSI, TOA, TDOA, AOA vb. yer alır.

RSSI: Radyo dalgalarının vericiden alıcıya Dünya yüzeyinin [67, 68] etkisi olmadan geçtiği varsayılmaktadır. Farklı radyo yonga setleri için göreceli ölçektelemedeki farklılıklar nedeniyle, standart bir sinyal gücü ölçümüne sahip olunması amaçlanmıştır. KAA'larda bulunan çoğu algılayıcı düğümü, RF alıcı verici ve mikro denetleyici ile donatılmıştır. KAA'daki bir düğüm bir sinyal aldığıında, alınan sinyal gücü (RSS) değeri, sinyalin iletim gücü ve verici ile alıcı düğüm arasındaki mesafe değerlerinin elde edilmesini sağlar [69]. İyi bilinen log-normal gölgeleme modelinde, yayılma kaybı ve düğümler arası mesafelerle ilgili güç ölçümünü içermektedir. Klasik gölgeleme denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$p = p_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + x_0 \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde (1), p_0 , d_0 'da alınan sinyal gücüdür ve d_0 referans mesafesidir. p_0 , ortamdaki zayıflamanın artmasıyla azalır. d , verici ve alıcı düğümler arasındaki gerçek mesafedir. x_0 gölgeleme faktörünü ifade eder ve desibel (dB) cinsinden ifade edilir. n , bina türü veya çevre ile ilgili olan yol kaybı katsayısı olarak açıklanabilir. Son olarak p , d mesafesindeki RSS değerini ifade eder. Söz konusu parametreler, alıcı p_r için alınan sinyal gücü ve dalga boyu λ (metre) arasındaki ilişkiyi etkiler ve aşağıdaki denkleme dahil edilir:

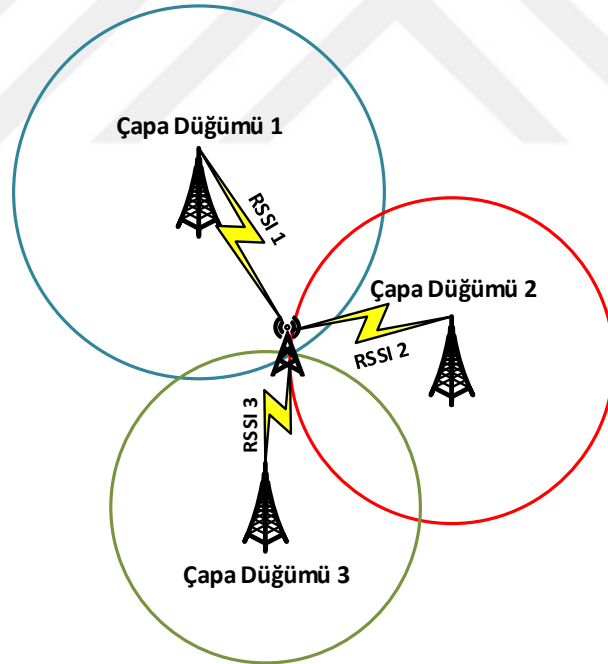
$$p_r = \frac{p_{tr} \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2)$$

p_{tr} iletilen sinyalin gücüdür. Sonuç olarak, yol kazancı (PG) denklem 3'le λ olgusuna bağlıdır:

$$PG = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3)$$

Ayrıca yol kaybı yerine yol kazancı kullanılabilir. Yine RSS'nin direkt etkisini gösterir [54]. Her yonga üreticisi, 0 ila 255 aralığında olabilen, IEEE 802.11 standardına uygun olarak kendi "RSSI Max" değerini açıklar. Örneğin, Atheros 0 ila 60 arasında ve Cisco 0 ila 100 arasında bir ölçek kullanır. Genellikle, hedef RSU yongasına veya erişim noktasına yaklaştığı sürece RSSI değeri verici gücüne yaklaşır. Sinyal gücü dBm veya RSSI olarak ifade edilebilir, ancak bunlar farklı ölçüm birimleridir. Aralarındaki fark gücü dBm mW (miliwatt) olarak temsil edilirken, RSSI göreceli bir değer olmaktadır. Şekil 4'te RSSI ile gerçekleştirilen lokalizasyon temel olarak gösterilmiştir.

İki boyutlu kullanıcı konumunu açık bir şekilde çözmek için en az üç çapa düğümünden RSS ölçümleri gereklidir ve bu durumda teknik, üçgenleme veya üçleme (trilaterasyon) olarak ifade edilir; Daha fazla çapa düğümü mevcutsa, çok yönlü olarak (multilaterasyon) kullanılır.

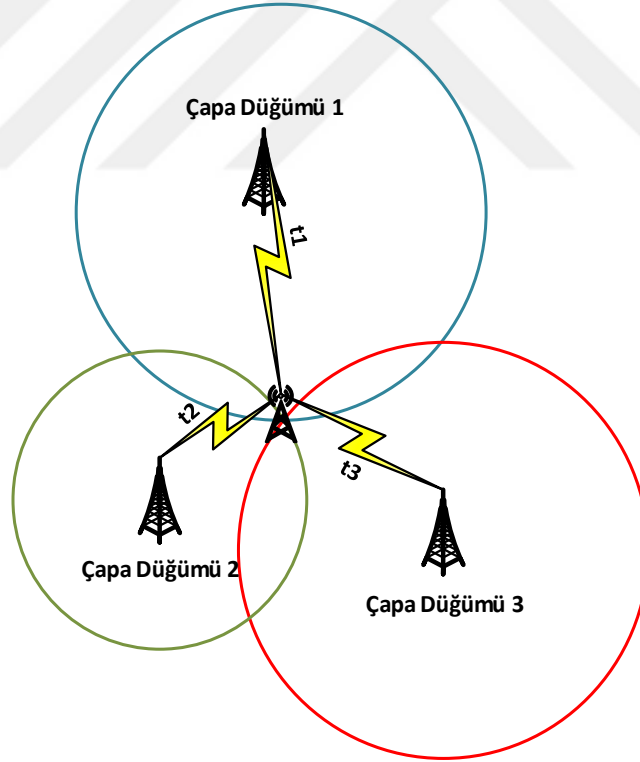


Şekil 4. RSSI ile Lokalizasyon Genel Yapısı

Laterasyon yaklaşımı, yol kaybı modelinin doğasında var olan yanlışlıktan ve ayrıca özellikle karmaşık kentsel ve kapalı ortamlarda engeller üzerindeki sinyal yansıması ve kırınım nedeniyle direk görüş olmayan (NLoS) koşulları ile çok yollu yayılmadan etkilenebilir. Bu, tahmini mesafelerde büyük hatalara neden olabilir ve dolayısıyla yanlış

konum tahminine yol açabilir. Parmak izi eşleştirme (fingerprinting) yönteminde ise bilinen konumlarda konum etiketli işaret imzaları (yani parmak izleri) toplanıp, bunlar ilişkili konum bilgileriyle birlikte bir veritabanında depolanmaktadır. Bu yaklaşım yukarıdaki kısıtlamaları gidermek için giderek daha popüler hale gelen bir tekniktir. Bu yönetime aynı zamanda radiomap (radyo haritası) ismi de verilmektedir. Konum tahmini, örüntü tanıma yöntemleriyle normal düğümlerde gözlemlenen parmak izi ile radyo haritasındaki parmak izleri arasındaki en iyi eşleşmeyi bularak gerçekleştirilebilir. Bu durumda, radyo haritasının hedef alanı kapsayacak şekilde doldurulması için veri toplama süresi ve etkin kullanımı sayesinde daha yüksek doğruluk elde edilebilir.

TOA: Bu yöntem sinyalin bir istasyondan ayrılıp diğerine ulaşması için ölçülen zaman farkı yerine, vericiden alıcıya bir sinyalin mutlak varış zamanını kullanılır. Bu açıdan söz konusu yöntem uçuş süresi (TOF) olarak da adlandırılır. Alıcı ve verici arasındaki mesafe, radyo sinyallerinin frekansı ve hızına bağlı olarak hesaplanabilir.

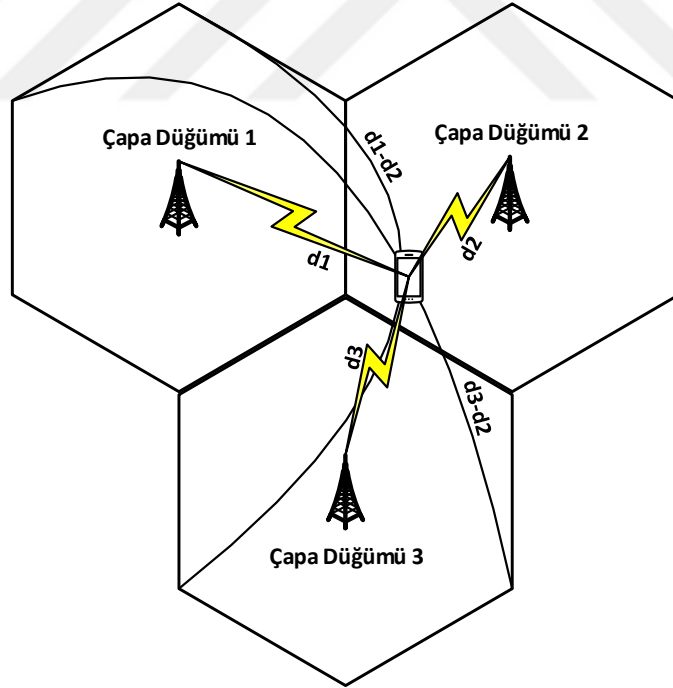


Şekil 5. TOA ile Lokalizasyon Genel Yapısı

Burada en az üç çapa düğümü kullanılmalıdır. Çapa düğümleri ile konum bulmak için düğümün senkronizasyonu yöntemde önemlidir. TOA ölçümleriyle ilgili temel sorun, alınan sinyalin kanal üzerinden farklı gecikmelerle çoklu yol yoluyla ulaşmasıdır [70]. LoS

sinyalinin, sinyal yayılma gecikmesini hesaplamak için TOA sistemlerinde mevcut olduğu varsayılmaktadır [71]. Farklı çapalardan gelen yayınımlar tek bir noktada birleşmeyebilir. Bu durum ise çoklu yol konum tahmininde bir hataya yol açar. Şekil 5'te TOA lokalizasyonunun genel yapısı gözükmemektedir.

TDOA: Bu teknik, belirli bir düğüm ve çapa düğümler arasında senkronizasyon olmadığında, buna karşın çapa düğümler arasında senkronizasyon olduğunda kullanılabilir [72, 73]. Verilen düğüm ile iki çapa düğüm arasında hareket eden iki işaretin varış zamanı farkı (TDOA) tahmin edilmektedir [74]. Bu, iki çapa düğümde odaklara sahip bir hiperbol üzerindeki belirli düğümün konumunu belirler. Gezgin birimin konumunu üçgenleme yöntemi ile tespit etmek için üçüncü bir referans düğümüne ihtiyaç vardır. Doğru konumlandırılmayı elde etmek için çapa düğümleri zaman içinde senkronize edilmelidir. Aralarında ortak bir saat yoksa, iki alıcı-verici düğüm arasındaki gerçek zamanlı gidiş dönüş zamanı, düğümler arasındaki mesafeyi tahmin etmek kullanılır [75, 76]. Şekil 6'da TDOA lokalizasyonunun genel yapısı gözükmemektedir.



Şekil 6. TDOA ile Lokalizasyon Genel Yapısı

AOA: Varış Açısı: Varış Açısı (AOA) tekniği, Normal düğüm ve birden çok çapa düğüm arasında gidip gelen edilen radyo işaretlerinin varış açılarının ölçülmesiyle

oluşturulan hatların kesişimindeki kullanıcı konumunu tahmin etmek için basit geometrik ilişkiler kullanır. Bu teknik üçgenleme olarak bilinir. AOA, yönlendirici antenler veya anten dizileri yardımıyla ölçülebilirken, iki boyutlu koordinat sisteminde konumu belirlemek için en az iki çapa düğüm gerekir. AOA, yalnızca algılayıcı düğümleri çok sayıda olduğunda yararlı olan bir seçenektir. Konumlandırılacak algılayıcı düğümlerinin sayısı daha azsa, AOA kullanımını verimli bir seçim olmaktan çıkmaktadır.

1.6.5. Metasezgisel Lokalizasyon

Yinelemeli, popülasyon temelli ve stokastik yaklaşımlar olarak metasezgisel teknikler, en uygun çözümü bulmayı sağlamayabilir, ancak makul miktarda hesaplama süresi içinde tatmin edici bir çözüm elde edebilirler. Son birkaç on yılda doğa, zorlu optimizasyon sorunlarına çözüm sağlayabilen akıllı sistem geliştirmek için büyük bir ilham kaynağı haline gelmiştir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları ise mühendislik uygulamalarında giderek daha bilinir hale gelmektedir. Çünkü oldukça kolay konseptlere dayanmakta ve uygulama yönüyle kolay olan algoritmalar olmaktadır. Bunun haricinde gradyan bilgisi gerektirmemekte; yerel en iyiyi atlayabilmekte; genellikle farklı disiplinleri kapsayan çok çeşitli konularda kullanılmaktadır. Farklı kombinasyonel optimizasyon problemleri için çok sayıda algoritma tanıtılmıştır. Doğal ilkelerin ardından, sürü zekası metasezgisel yöntemleri ortaya çıkmıştır. Sürü sistemi, sürüyü bir bütün olarak istenen hedefe yönlendiren koordineli ve zeki davranış sergileyen, nispeten karmaşık olmayan bireylerden oluşur.

Swarm Intelligence (SI) tabanlı optimizasyon algoritmaları, çok boyutlu optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır [77, 78]. Bu tür algoritmalar, bir ajan için popülasyonların toplu davranışına dayanmaktadır. Bu yöntemler genellikle KAA lokalizasyonu konusu için bütünüyle denenmemişlerdir. Lokalizasyon alanında Yapay Arı Kolonisi (ABC), Bakteriyel Toplama Algoritması (BFA), PSO vb. başarıyla uygulanmaktadır [79, 80]. Doğruluk ve hesaplama karmaşıklığı açısından bu algoritmalar arasında farklılıklar olabilir. Shuffled Frog-Leaping Algorithm (SFLA), sürekli ve kesikli optimizasyonda kullanılan bir yöntemdir. Bu tür bir optimizasyon, lokalizasyonda doğruluğu artırmak için bir mesafe vektörü (DV) tekniği ile kullanılır.

Başka bir çalışmada, KAA'da [81] yeni düğümleri dağıtmak için de kullanılmıştır. Lokalizasyon doğruluğunu ve ayrıca optimum düğüm dağıtımını iyileştirmek için ABC algoritması kullanılmıştır [82, 83]. PSO ise yüksek doğruluk ve hızlı yakınsama sağlayan

verimli bir algoritmadır. Bu teknik, birçok lokalizasyon uygulamasında kullanılmaktadır. Sınırlayıcı kutu yöntemi dikdörtgen tahmin noktalarının kesişimine dayanmaktadır. Bununla birlikte, ilgili bir çalışmada [84] dikdörtgen kesişim alanında rastgele bir başlangıç konumu belirlenmekte ve ardından PSO yöntemi ile optimizasyon gerçekleştirilmektedir. Bu değerler, geleneksel sınırlayıcı kutu yöntemleriyle karşılaştırılıp ve daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca, bu algoritma başka bir makalede lokalizasyon hatalarını en aza indirmek için kullanılmaktadır [85]. Bu çalışmadaki yaklaşım, PSO'nun geleneksel DV-Hop algoritmasına göre performans kıyaslamasına dayanmaktadır. Bu yöntemde iki boyutlu (2D) hiperbolik konum algoritması ve PSO olmak üzere iki adım vardır. İki boyutlu hiperbolik konum algoritması konum tahmininin hassasiyetini geliştirirken, PSO konum tahminini düzeltme amacına hizmet eder. Doğruluğu artırmak için lokalizasyon süreci için metasezgiden yararlanan söz konusu makalelerin aksine, çalışmamız aynı amaç doğrultusunda lokalizasyon öncesi aşamadaki çapa düğümlerini belirlemek için metasezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanmaktadır.

Han Bao [86], bir veya daha fazla gezgin çapa düğüme sahip KAA'lar için PSO tabanlı bir lokalizasyon algoritması (PLA) önermiştir. PLA, gezgin çapa düğümlerin optimize edilmiş veya önceden belirlenmiş bir yolda hareket etmesini gerektiren bir yöntem değildir. Bu özellik, veri toplama ve ağ yönetimi uygulamalarına hizmet etmek için lokalizasyon özelliğine sahip gezgin veri havuzları oluşturur. Lei ise çalışmasında [87], olumsuz veya tehlikeli uygulama ortamlarıyla ilgili PSO'ya (MAAL PSO) dayalı bir gezgin çapa düğüm destekli lokalizasyon algoritması önermiştir. İlgili saha (ROI) ızgaralara bölünmüştür ve gezgin çapa her bir ızgaranın tepe noktasındaki sanal çapaları konuşlandırmaktadır. Bu konuşlandırmaya dayanarak, düğüm lokalizasyonu, mobil çapa yardımıyla PSO tarafından çözülen doğrusal olmayan kısıtlı optimizasyon problemine dönüştürülür. Birkaç yinelemeden sonra, performans değerlendirmeleri, bu algoritmanın lokalizasyon doğruluğunu artırdığını göstermektedir. Aynı zamanda çevre gürültüsüne karşı dayanıklı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu önerilen yöntemde gözlemlenen dezavantaj, ROI'de kullanılan algılayıcı düğümlerinin ızgara (tek tip) dağıtımının, algılayıcı düğümlerinin genellikle gerçek zamanlı ortamlarda rasgele dağıtımla konuşlanmalarından dolayı uygulanamaz olmasıdır.

Wenwen ve Wuneng [88], algılayıcı düğümlerinin lokalizasyonu için genetik algoritmayı önermişler ve çözüm uzayını oluşturmuşlar, çözümleri kodlamış, uygunluk durumunu matematiksel olarak ifade etmişler ve gelecek nesil için ebeveynleri seçmek için

uygun seçim mekanizmasını kullanmışlardır. Bireyler üzerinde üreme işlemi yapılıp ve yüksek doğrulukta çözüm elde edilmektedir. Söz konusu genetik algoritma yaklaşımı, iyi bir lokalizasyon doğruluğu sağlar. Bu yöntemde gözlemlenen kusur, çözüm uzayının çok büyük olması ve algoritmanın yinelemelerin her birinde çok sayıda çözüm aramak zorunda olması veya yineleme sayısının büyük olmasıdır. Algılama saha alanı arttığında, ilgili hesaplama da doğal olarak artmaktadır.

Bir diğer çalışmada [89], gezgin çapa düğümü ve genetik algoritma ile yeni bir lokalizasyon yöntemi önerilmiştir. Ağırlıklı ağırlık merkezi yöntemi genetik algoritma ile birleştirilmiştir. Başlangıçta, GPS ile donatılmış gezgin çapa düğümlerinin tüm algılama alanı etrafında geçmesine izin verilmiştir. Bilinmeyen çapa düğümleri, gezgin çapa düğümleri aracılığıyla lokalizasyon için yararlı bilgiler elde edebilir. Ardından, bilinmeyen algılayıcı düğümlerinin başlangıç koordinatları ağırlıklı ağırlık merkezi yöntemi ile hesaplanır. Böylece, bilinmeyen sensör düğümlerinin başlangıç konum koordinatları gerçek koordinatlara yakınsanır. Genetik algoritma yinelemeli döngüye sahip olduğundan, lokalizasyon doğruluğu ancak bir dereceye kadar iyileştirilmektedir.

Başka bir çalışmada ise [90], iyileştirilmiş bir tavlama simülasyonuna dayanan yeni bir KAA düğüm lokalizasyon algoritması önerilmiştir. Simülasyon sonuçları, bu algoritmanın geleneksel benzetilmiş tavlama algoritmasına kıyasla daha üstün performansa ulaştığını ve konumlandırma doğruluğunun neredeyse iki katına çıktığını göstermektedir. Ayrıca yapısal olarak algoritma çok basittir ve hesaplama zorluğu çok düşüktür, bu nedenle düğüm konumunun tespiti için uygundur. Gopakumar ve Jacob ise [91], doğrusal olmayan bu optimizasyon problemi sayesinde algılayıcı düğümlerinin lokalizasyonu için sürü zekasına dayalı bir yaklaşımı önermiştir. Seçilen amaç işlevi, tüm komşu çapa düğümlerinin ortalama kare aralık hatasının bulunmasıdır. PSO algoritması, benzetilmiş tavlama daha iyi yakınsama sağlamakta ve yerel en iyiye takılıp kalmadan çözüm bulmaktadır.

Lokalizasyon için kullanılan bu evrimsel temelli yaklaşımlardan gözlemlenebilecek bazı yaygın sınırlamalar şunlardır:

1. İlk gözlem, bu evrimsel temelli yaklaşımların çevre gürültüsünün müdahalesine karşı dayanıklı olmadığı yönündedir.

2. Bu yaklaşımlar, yalnızca hesaplama yükleri çok küçük olduğunda kablosuz algılayıcı ağının düğüm konumu için uygundur.

3. Bu yaklaşımlarda, her bir gezgin sabitleyici periyodik olarak işaretler yayınlayıp ve algılayıcı düğümleri kendilerini yalnızca çoklu işaret mesajlarının alınması üzerine konumlandırabilir, bu da lokalizasyon işlemi sırasında hesaplama süresini artırır ve ayrıca yalnızca hassas olmayan konum doğruluğunu sağlar.

1.6.6. Çapa Düğüm Seçimi

Lokalizasyon sürecine katılan daha fazla çapa düğüm noktası, her bir çapa noktasındaki gürültü seviyesinin aynı olduğunu varsayarak daha iyi lokalizasyon doğruluğu sağlayabilir [92]. Bununla birlikte, pratikte, farklı çapa noktalarındaki gürültü seviyeleri, çapa noktaları tarafından kullanılan cihazların kırımım, yansıma ve gölgelenmesinin neden olduğu çoklu yol etkileri ve istasyonların kendilerinin (konektörlerdeki farklılıklar ve termal etki) konum doğruluğu nedeniyle farklıdır [93]. Örneğin, kapalı ortamlarda, gürültü söz konusu alan içinde eşit olarak dağılmaz. Kapıya yakın çapa düğüm noktalarındaki gürültü seviyesi, kapının kapanması ve açılmasından etkilenir. Sonuç olarak, böyle bir çapadan gelen sinyal ölçümü de etkilenecektir [94]. Dahası, kullanıma hazır cihazları WLAN'da kullanırken konum sistemleri, farklı cihaz türleri farklı güvenilirliğe sahip olabilir ve sonuç olarak, farklı istasyonlardan ölçülen sinyalin kalitesi değişebilir [95]. Ayrıca, KAA'larda lokalizasyon durumunda, ara düğümlerin (yani çapa noktalarının) tahmini hâlihazırda hatalara yol açabilmekte; bu nedenle, çapaların konumlarının doğruluğu farklı olabilmektedir [96]. Bu nedenle, akıllıca seçilebilen çapa düğümleri daha düşük gürültü seviyeleri sağlayabilir, yüksek cihaz güvenilirliği olabilir ve kablosuz lokalizasyon için yüksek konum doğruluğu elde edilebilir.

Literatürde çapa düğüm seçimi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çapa seçimi, en iyi lokalizasyon için ağ veya kümede çapa olarak en verimli düğümleri seçme eylemidir. En iyi düğümlerin seçilmesi, çapalar arasındaki mesafe ve lokalizasyon için gerekli sayıda çapa düğüm gibi çeşitli faktörlerle ilgilidir ve minimum lokalizasyon hatası elde etmek için optimum çapa yerleşimini bulmak için çalışır [97]. Dahası, mevcut tüm çapaları kullanmak seçeneğinden daha kesin bir lokalizasyon doğruluğu elde edebilir.

Bununla birlikte, KAA lokalizasyonunda, GPS'i tüm düğümlere entegre etmek, en doğru bilgiyi elde etmenin yolu olsa bile, uygun maliyetli bir seçenek değildir. Çünkü bu seçenek, daha fazla yazılım ve donanım mekanizması nedeniyle maliyete neden olabilir. Etkin bir KAA lokalizasyonu için ekonomik maliyet, sistem karmaşıklığı ve lokalizasyon

doğruluğu arasında bir denge olmalıdır. Ahmadi tarafından önerilen yöntem çapa seçimi ile ilgili çalışmalardan biridir. Bu çalışmada en yakın üç düğüm çapa olarak seçilirken en yakın komşu (KNN) yöntemi ile çapa seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yöntem; i) Alan Bölümlenme, ii) Eğitim Setlerinin Tanımı, iii) En İyi Çapa Düğüm Setinin Sınıflandırılması iv) En İyi Çapa Düğüm Setinin Seçimi [98] olarak dört aşamadan oluşur. Başka bir çalışma, lokalizasyon doğruluğunu artıran Cramer-Rao alt sınırının (CRLB) bir yaklaşımını basite indirerek tek tip bir çevre çapa yerleştirme yöntemini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, CRLB için bir bağlı analizden sağlanır ve karşılık gelen göreceli konfigürasyonun izotropik olarak ayırt edilebilir olduğu varsayımı altındadır [99].

Bir diğer çalışmada [100], etkili WLAN konum belirlemesi için çapa düğümleri seçmek amacıyla ortak bir kümeleme tekniği sunulmuştur. Ortak kümeleme tekniği, gürültülü kablosuz kanalı ele almak sinyali güçü olasılık dağılımlarını ve radyo haritasını aramanın hesaplama maliyetini azaltmak için konumların kümelenebilirliğini kullanır. Özellikle, araştırmacılar, lokalizasyonu gerçekleştirmek için bir dizi mevcut çapa düğümü arasından gözlemlenen sinyal gücü en yüksek olan k adet çapa düğümünü seçmeyi önermişlerdir. En güçlü k adet RSS seçimi, RSS'nin iki gözlemine dayanmaktadır: (1) Sabit bir konumda, bir çapa noktasından gelen sinyal gücü zamanla değişmektedir; ve yine (2) bir konumu kapsayan bağlantı noktalarının yani düğümlerin sayısı zamana göre değişmektedir. Sezgisel olarak, söz konusu alanda çoğu zaman görülen bağlantı noktaları veya düğümler, lokalizasyon gerçekleştirmek için seçilmelidir. Çapanın kapsama alanındaki düğümler zamana göre değiştiğinden, en güçlü RSS okumalarına sahip en iyi k çapa düğümü, büyük olasılıkla zamanla aynı alanı kaplayacakları için tercih edilmektedir.

Chen vd. tarafından yapılan çalışmada, geliştirilmiş bir en küçük kareler algoritması tasarlanmıştır. Ayrıca, bu algoritma göreceli olarak daha az kümülatif mesafe hatası sağlamaktadır. Bu çalışmada, ispatlanması gereken iki teorem vardır. Teorem 1: Çapalar ve hedef arasında öklid mesafesi küçükse, lokalizasyon hatası da düşük olacaktır. Teorem 2: Çapa düğümünün kendisi için küçük bir lokalizasyon hatası varsa, hedefin lokalizasyon hatası yeniden daha küçük olacaktır [97]. Diğer bir çalışmada ise farklı bir strateji denenmiş ve çapayı seçmek için farklı bir kriter uygulanmıştır [101]. Birçok çalışmada, uzaklık ve dolayısıyla sinyalinin gücü çapa düğümü seçiminde önemli bir role sahiptir [102].

Sezgisel bir yöntem olarak, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), lokalizasyon için en uygun çapa düğümlerini bulmak için başka bir çalışmada [103] kullanılmaktadır. ACO ayrıca kör düğümlerin konumlarını tahmin etmek için verimli çapalar bulmayı da

hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre bu algoritma ile klasik DV-Hop algoritmaları karşılaştırılmış ve ACO doğruluk ile kararlılık açısından daha iyi performans göstermiştir. Diğer bir çalışmada ise üçgenleme savunulmuş ve çapa düğümlerini seçmek için üç çapadan oluşan koşullar kullanılmıştır [104]. Bu yaklaşım, hata analizine dayanan seçimi sabitleyebilmek üzerinedir. Bu yöntem, ideal veya eşkenar üçgene mümkün olduğunca benzer olan çapa düğümleri tarafından bir üçgen oluşturmayı önerir. Başka bir çalışmada, DV-Hop tekniğine dayalı olarak geliştirilen iki yaklaşım vardır. Referans çapa yaklaşımına (RAS) göre, her bir çapa düğümü bir referans düğümü olarak hareket edebilir ve lokalizasyonu yapılmamış bir düğüm birçok aday konuma sahip olabilir. Bu yöntemde göre, en iyi aday, çapalar ve lokalizasyonu gerçekleşmemiş düğüm arasında en benzer mesafeye sahip olmalıdır. Global optimize edilmiş çözüm (GOS) DV-Hop, global olarak optimize edilmiş bir yaklaşım önerir. Her iki yöntem de klasik DV-Hop tekniği ile birbiriyle karşılaştırılarak ondan daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, lokalizasyon için değişen yayılma spektrumu ile ilgilidir. Ayrıca, yine belirli ortam nedeniyle sinyal iletimine bağlıdır. Modelin gözlenebilirliğine göre çapa seçimi ve genişletilmiş Kalman filtresi ile lokasyon tahmini ile gerçekleştirilmiştir. Bu tür bir filtre, bir düğümün gerçek konumunu izleyebilmektedir. Dahası, bu modelde bir ölçekleme faktörü vardır ve bu, modelin ek bir durumu olarak değerlendirilmektedir. Robles vd. ise genişletilmiş kalman filtresini uyarlanabilir bir yöntemle kullanmıştır. Bu yaklaşıma göre, bazı hata göstergeleri, önceki dönemlerdeki lokalizasyon hataları nedeniyle çapa düğümlerinin sayısını düzenlenir. Yani daha önceki dönemlerde lokalizasyon hatası yüksekse çapa sayısı artırılabilir [105].

Bir diğer çalışmada [106], çapa düğümleri olarak komşu düğümleri seçmek için belirli bir rastgele seçim stratejisi benimsenmiş, ancak sonuçlar garanti edilememiştir. Yine konuyla ilgili olarak Ermel vd. [107], KAA'da konum tahmininin doğruluğunu artırmak için çapa düğümlerini seçmek için basit dışbükey gövdeye ve gelişmiş gövdeye dayalı iki yöntem geliştirilmiştir. Buna göre çapa düğümlerinin konum doğruluğunu dikkate alarak KAA'lardaki düğümlerin lokalizasyonu için dışbükey gövde seçimi yapılır.

Diğer bir çalışmada [108], çapa düğümlerin veri kalitesine dayalı olarak yüksek yoğunluklu bir ağ dağıtımında çapaların nasıl seçileceği önerilmiştir. Bu teknikte yüksek RSS kalitesi ve işaret propagasyon modeline uygunluk kriterleri öne çıkar. Yöntemle ilgili olarak, bir Wi-Fi cihazı kullanılarak RSS lokalizasyon doğruluk sınırlarını deneysel şekilde tespit edilmiştir. Araştırmacılar, RSS verilerini kontrollü bir laboratuvar ortamında tek bir

verici ve 369 adede kadar çapa düğüm ile deneyler yapmışlardır, bu da lokalizasyon algoritmaları için ideal bir senaryoyu temsil etmektedir.

1.6.7. Çapa Düğüm Yerleşimi

Çalışmamız esas olarak çapa konuşlandırma sorunuyla ilgilidir. Çapa yerleştirme, çapa seçimine benzemektedir, ancak KAA lokalizasyonu ile ilgili farklı bir konu olmakta ve bu konu için önerilen literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Zaidi vd. optimum istasyon konumlarını elde etmek için bir yaklaşım kullanmış ve daha az konum tahmin hatası (LEE) elde ettiklerini iddia etmişlerdir. Çapa yerleştirme stratejilerini uyguladıklarında, Normalized LEE (NLEE) sonuçları grid, çevre ve rastgele prosedürleri sırasıyla hataları yüzde 76.8, 61.62 ve 50.64 kadar azaltmıştır [109]. Salman ise lokalizasyon doğruluğunu iyileştirmek için Cramer-Rao-bağlı (CRB) yöntemini kullanmış, en uygun ve en kötü çapa konumlarını denemiştir. Bu çalışmada toplamsal gürültü modeli ve çarpımsal gürültü modeli olarak adlandırılan iki gürültü modeli bulunmaktadır. Bu yöntemde, minimum ortalama CRB değerine sahip çapa düğümler, lokalizasyon için en iyi doğruluğu sağlamaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, çapa sayısındaki artış CRB'de bir azalmaya neden olabilmektedir [110]. Başka bir çalışmada [111], KAA'nın boyutu, çapa miktarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Söz konusu çalışmada iki yöntem uygulanmaktadır. İlk tekniğin, ortalama alanı en aza indirmek, daire tabanlı lokalizasyon algoritmaları ve deterministik çapa dağıtımı gibi bazı aşamaları vardır. İkinci yaklaşım, iki çapa kapsamı nedeniyle farklıdır ve dört alt bölümlü analize ve optimum çapa yerleştirme süreçlerine sahiptir.

Li vd. seçici bir çapa yerleştirme algoritması gerçekleştirmeye çalışmıştır [112]. Lokalizasyon algoritmasını çalıştırmak ve doğruluk performansını görebilmek için Cramer-Rao Alt Sınır (CRLB) yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada çapa yerleşimi için etki faktörleri vardır. Bunlar, lokalizasyonu yapılmayan düğüme göre çapa hareketliliği, çapa yoğunluğu ve çapa konumudur. Ayrıca çapa kapsama alanının boyutuna göre hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama CRLB değerleri mevcuttur. Monica ve Ferrari, çapa yerleşimi ve binadaki bir hatta hareket eden Otomatik Kılavuzlu Araç (AGV) ile ilgili farklı bir sorunu değerlendirmişlerdir. Burada çapa düğümleri sabit konumlara sahiptir ve lokalizasyon için Zaman Farkı (TDOA) tekniğini kullanmaktadırlar. Yönteme göre AGV, konumunu tahmin etmek için en yakın dört çapa düğümünü seçmektedir [113].

Ash ve Moses geleneksel çapa yerleştirme yöntemlerini incelemişler ve uygulanan tekniğin [114] başarısını analitik olarak açıklamışlardır. Bu makalede ana açıların türetilmesi, çapa düğümlerinin açısız ve radyal konumlandırılması olarak gözlenen birkaç faktör olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışma, çapa düğümlerinin tek tip çevre konuşturması için mantıksal seçimlerin, çapa konumlarının yokluğunun doğruluğunu etkileyebileceğini ima etmektedir. Bir diğer çalışmadaki [115] düğümlerin konum tahmini sırasında gürültü ve yol kaybı parametrelerinin rastgele dağılımı dikkate alınmıştır.

Doherty ve arkadaşlarının çalışmalarına göre [57], [118] çapa düğümlerinin kenarlara ve ideal olarak köşelere yerleştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda algoritmada basit bir kısıtlama problemi olmaktadır. Bu kısıtlama, tüm bilinmeyen düğümlerin çapaların dışbükey gövdesine yerleştirilmesini gerektirir ve bu nedenle, çapalar köşelerde olduğunda lokalizasyona dair daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Li [52], [119] ve Shang [53], [120] tarafından yapılan çalışmaların her ikisi de ağ içinde rastgele çapa seçebilmektedir. Shang çalışmasında bir örnekte seçilen eş doğrusal çapa kümesinin, neden kötü bir seçim olduğuna dair destekleyici kanıtlar olmadan "oldukça şanssız bir seçimi temsil ettiğinden" bahsetmiştir.

Bir diğer çalışmada [116], belirli bir doğruluk hedefine ulaşmak için çapa düğüm konumlarının seçilmesine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Bununla birlikte, önerilen yöntem yalnızca dikdörtgen ağ alanları için geçerlidir ve çapa düğümleri, eşit boyutlu dikdörtgenlere bölüldüğü takdirde orijinal dikdörtgenin içindeki alt dikdörtgeninin ortasına yerleştirilmelidir. Ayrıca, burada RSSI tabanlı basit lokalizasyon kullanılmıştır. Diğer bir çalışmada ise [114], tespit düğümlerini bir ağın çevresine tekdüze olarak yerleştirmenin, sensör düğümü konumları hakkında oldukça iyi sonuçlar sağladığı analitik olarak kanıtlanmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, yine bu teknik, dikdörtgen bir ağ ve daha da önemlisi basit bir lokalizasyon veya multilaterasyon teknikleri içinde kullanılmaktadır [57]. CCA-MAP [52] ve MDS-MAP [53] 'de olduğu gibi tüm düğümler arası mesafeleri aynı anda kullanırken ise bu analiz doğru sonuç vermez.

Ling ise çalışmasında iki farklı aşama denemiştir. İlk olarak, KAA'da farklı koordinatlar için optimum çapa seçimi için Geometrik Kesinlik Dilüsyonu (GDOP) ölçümü uygulanmıştır. Daha sonra ise lokalizasyon işlemi için iki aşamalı lokalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca diğer bir çalışmada WLAN altyapı ilkelerine göre çapa düğümü yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya [117] göre RSS örnekleme büyüklüğü büyük ölçüde mesafe hatalarındaki kesintilerden kaynaklanmak zorundadır. Böylece lokalizasyon

için ölçümler daha doğru bir şekilde gözlemlenebilir. Chepuri CRLB'yi kullanmamış ve çapa yerleşimini bir dışbükey optimizasyon sorunu olarak tanımlamıştır. Miao ve Huang ise çalışmalarında tek atlamalı KAA lokalizasyonunda optimum çapa yerleşimini incelemiştir [118]. Makalenin çözümü TOA'ya uygulanan Fisher bilgi matrisiyle ilgilidir. Ayrıca, bu tür bir matris CRLB'ye karşılık gelmektedir.

Başka bir çalışmada ise, K-Means kümelenebilir yöntemi, baz istasyonu yerleştirme sorunu için kullanılmıştır. İletim gücü, anten modeli, yayılım modeli ve sonuç olarak düğümlerin iletişim uzaklığı, [119]'da verimli baz istasyonlarını seçmek için belirleyici faktörler olmuştur. Doğal olarak düğüm yerleştirme sorunu, diğer yöntemler gibi doğadan esinlenen meta-sezgisel algoritmalarla incelenmektedir. Harris Hawk Optimizasyon tekniği, başka bir çalışmada [120] optimum havuz düğümü yerleşimine uygulanmıştır. Ancak bu yöntem daha verimli ve yüksek yakınsama büyük ölçekli bir KAA düzenlemek için kullanılır. Bu çalışmadan farklı olarak, tez çalışmamızda lokalizasyon işlemi için esas olarak çapa düğümü yerleşiminde meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca, başka bir KAA yapısında küme başı seçimi için karma modelde Bozkurt optimizasyonu (Grey Wolf Optimization-GWO) ve Karga Arama Optimizasyonu (Crow Search Optimization-CSO) kullanılmaktadır. Bu iki algoritmanın melezleşmesi algoritmalarda kullanım ve keşif aşamaları arasında uygun bir denge oluşturularak gerçekleştirilmiştir [121].

Karl ve Willig [3], çalışmalarında çapa düğüm yerleşimi ve etkisine kısa da olsa bir bölüm ayırmıştır. Çeşitli çalışmalara [122, 57] atıfta bulunarak, yine en uygun seçim olarak çevresel çapa yerleşimini önermektedirler. Önerilen teknik, GPS gibi mutlak konumlandırmaya sahip bir gezgin düğümün ağda dolaştığı ve seyahat ederken optimum çapa yerleşimlerini belirlemeye çalıştığı uyarlamalı bir yerleşimi içermektedir. Önceden planlama gereksinimi sebebiyle bu teknik uygulanabilir değildir. HyBloc algoritması ise MDS ve yakınlık-mesafe haritasının (PDM) bir melezidir [123]. Cheng ve arkadaşları ise [124], özellikle kümeler halinde, ters çapa yerleşiminin etkilerini ele almak için yeni bir teknik sunmuşlardır.

Başka bir çalışma ise, RSSI ve diğer radyo yayılım ölçümleriyle ilişkili olduğu için iç mekan koşullarının ve çapa yerleştirmenin etkisine odaklanmaktadır [125], [134]. Deneyler küçük, kapalı bir alanda gerçekleştirilmiş ve sabitleme düğümleri odanın tavanına veya zeminine yerleştirilmiştir. Çalışma, yerdeki sabitleme düğümlerinin odadaki hareket eden insanları izlemek için daha iyi olduğunu iddaa etmekte; buna ek olarak çapa düğümlerinin

konumlarını bulmak için kullandıkları düğümlerle aynı düzlemde olması gerektiği sonucuna varmaktadır.

Bir başka çalışmada, çapa düğüm [126] pasif lokalizasyon için çapa düğümü yerleşimini incelenmiştir. Burada düğümler, gök gürültüsü, şimşek, sismik dalgalar vb. küresel olayları pasif olarak dinlemektedir. Etkili pasif lokalizasyonda, çapa düğümlerinin optimum yerleşimi, üç çapa düğümünün doğrusallığının bulunmaması halinde ağın merkezinde olması esasına dayanır. Çapalar arası doğrusal olmama durumu ne kadar fazlaysa, o kadar iyi lokalizasyon gerçekleştirilmektedir. Bu sonuçlar, çapa düğümlerinin yerleşimini ağın çevresiyle sınırlamadıkları için ideale yakın sonuçlardır. Bununla birlikte, sonuçlarda, çapa düğümlerinin de çevreye yerleştirildiğinde iyi lokalizasyon sonuçları sağlanmaktadır. Ayrıca, dikkatli bir çapa düğümü yerleşimi ile elde edilebilecek yararın, belirli alt sınırlara bağlı olduğu bulunmuştur.

Alippi ve Vanini [127], sinyal gücü ölçümlerinin değişkenliğine bağlı olarak lokalizasyon hatası için matematiksel bir model geliştirmiştir. Önerilen matematiksel model, alana yerleştirilen üç çapa düğümle ortalama lokalizasyon hatasına göre en uygun çapa yerleşimini bulmayı amaçlamaktadır. Burada sezgisel arama yöntemleri, optimum çapa yerleşimini bulmak için geliştirilmiştir. Bu model, gerçek lokalizasyon tekniğinden bağımsız olacak şekilde tasarlanmıştır; bu nedenle, yalnızca kullanılan lokalizasyon algoritmasının davranışına ilişkin genel varsayımlara dayanmaktadır.

Bulusu vd. [128], lokalizasyon sırasında deneysel olarak uyarlanabilir işaret yerleştirme ihtiyacına işaret etmekte ve arazi koşullarının mobil bir insan veya robot aracı tarafından araştırılmasına ve enstrümantasyona dayanan genel bir yaklaşımı ana hatlarıyla belirtmektedir. Mevcut çapa düğüm yerleştirme yaklaşımları, temelde önceden tahmin edilemeyen çevresel koşulları hesaba katmayan sabit stratejilerdir. Bu tür arazi ve yayılma belirsizliklerini önceden belirleyip, bölge genelinde istenen bir lokalizasyon kalitesini eşit şekilde elde eden ideal (hatta tatmin edici) bir çapa yerleşimini hesaplamak neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, yerleşimin gürültülü ve öngörülemeyen çevre koşullarına uyum sağlaması gerekir. Bu çalışma ayrıca uyarlanabilir yerleşim sorununu ele almaktadır: Mevcut bir çapa düğüm alanı göz önüne alındığında, en avantajlı durum için ek çapalar nasıl yerleştirilmeli sorusuna cevap aranmaktadır. Çapa yerleştirme yoluyla lokalizasyonun kademeli olarak iyileştirilmesine yönelik yaklaşım, deneysel uyuma dayanmaktadır. Uyarlama yoluyla, araştırmacılar yerleşimi ayarlayarak veya tüm çapaları tamamen yeniden dağıtmak yerine birkaç çapa düğüm kullanmayı denemişlerdir. Ek çapalar ekleyerek

lokalisasyon kalitesini iyileştirmek için özellikle iki strateji önerilmektedir. Önerilen ilk stratejide lokalisasyon hatalarının maksimum olduğu konumlara ek apaların yerleştirildiği yerler maksimum olarak adlandırılır. Bu yöntem, lokalisasyon hatası yüksek noktaların uzamsal olarak olduğu varsayımına dayanmaktadır. Örneğin, benzer arazi koşullarında, o alandaki çoklu yol etkileri de benzer olmakta; sonuç olarak, lokalisasyon hatası uzamsal olarak ilişkilendirilmektedir [129]. Bu algoritmanın avantajı, çok basit bir şekilde hesaplanabilmesidir. Bununla birlikte, bir noktada çok yüksek lokalisasyon hatasına neden olabilen yayılma etkilerinden veya rastgele gürültüden aşırı derecede etkilenebilirken, diğer taraftan yakın noktalara ait lokalisasyonlarda hata düşük olabilmektedir.

İkinci yöntem ise kümülatif lokalisasyon hatasının yüksek olduğu noktalara ek apaların yerleştirildiği ızgara yerleşimi (grid) olarak adlandırılmaktadır. Her noktada kümülatif lokalisasyon hatasını hesaplamak için, tüm alan örtüşen ızgaralara bölünmektedir. Noktaların kümülatif lokalisasyon hatası, ızgara içindeki tüm noktaların lokalisasyon hatasının toplamıdır. Bu yöntem, yeni eklenen çapanın sadece konuşlandırıldığı noktayı değil, yakındaki alanını da etkilediği gözlemine dayanmaktadır.

Önerilen yöntemle, kablosuz cihazın lokalisasyonu kapsama alanındaki apaların ortalama koordinatlarının bulunduğu basit merkez tabanlı lokalisasyon yöntemi kullanılarak test edilmektedir [64]. Simülasyon 100 × 100 metrelik bir alanda yapılmıştır. Her kablosuz düğümün kapsama alanı 15 metredir. apa sayısı, 10 çapa düğümlük artışlarla 20 ila 240 arasında değişmektedir. Gürültü, apalar ve kablosuz düğümler arasındaki bağlantıyı etkilemek amacıyla ortaya çıkartılmaktadır. Simülasyon sonuçları, grid algoritmasının gürültü varlığında en iyi sonuçları sağladığını ve rastgele yayılmaya göre daha üstün olduğunu göstermektedir. Ayrıca araştırmacılar, gürültü seviyesi ile karşılaştırıldığında, çapa yoğunluğunun, çapa yerleştirme algoritmalarının performansı üzerinde daha yüksek bir etkiye sahip olduğunu doğrulamışlardır.

Yiming vd. [130, 131], RSS kullanarak i mekn kablosuz lokalisasyonunda yalnızca üç çapa ile temel dağıtım yapısına odaklanarak akut üçgen tabanlı dağıtım önermişlerdir. Ayrıntılı analiz ve deneysel sonuçlar, en iyi genel lokalisasyon performansının, eşkenar üçgenin ( çapadan oluşan) ağırlık merkezi deneysel alanın merkezi ile çakıştığı zaman elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca, geniş bir zemindeki tüm konumların optimum konumlandırmasını sağlamak amacıyla, zemindeki herhangi bir konumun her zaman yakındaki  çapa tarafından kapsanacak şekilde ve ten fazla çapanın ise yarı kafes tarzında yerleştirilmesi gerekmektedir.

Bir diğerk çalışmada [132] hem analizi hem de deneyleri kullanılarak, iç mekânlarda iyi tanımlanmış düzenli bölgelerde çapa düğümünün en uygun yerleşiminin bulunması amaçlanmaktadır. Analitik analizden, doğrusal en küçük kareler (LLS) algoritması ile lokalizasyon hatası için bir üst sınır türetilmektedir. Bu sınır, çapaların yerleştirilmesinin yanı sıra çapalardaki ölçüm hatalarını da yansıtmaktadır. Teorik analiz, iki nedenden dolayı en küçük kareler (LS) algoritmasına odaklanır. İlk olarak LS, son zamanlarda yapılan birçok lokalizasyon çalışmasında bir adım olarak uygulanmasından da anlaşılacağı üzere, yaygın olarak kullanılan birçok yönlü algoritmadır. İkinci olarakta, LLS'nin matematiksel analizi izlenebilir olmakta, bu da kapalı form çözümlerine sahip denklemlerle sonuçlanmaktadır. Çok sayıda başka algoritma için, lokalizasyon hatasını çapa yerleştirmenin bir işlevi olarak tanımlayan kapalı form çözümleri uygulanabilir değildir. Başka bir çalışmaya [133] göre ise optimal bir yerleşimi bulmak için sezgisel arama stratejileri kullanılmalıdır. Ayrıca, belirli sayıda çapa düğüm için, maksimum lokalizasyon hatasını en aza indirmeye çalışan çapa düğüm yerleştirme modelini bulmak için maxL – minE adı verilen bir algoritma geliştirilmiştir. [132]'de ise ilginç bir sonuç ortaya çıkmıştır. Az sayıdaki çapa düğüm için, eşkenar üçgenler ve kareler gibi basit şekillerin daha iyi lokalizasyon performansına sahip yerleşimlere yol açması söz konusudur. İlginç bir şekilde, daha fazla sayıda çapa için, araştırmacılar, örneğin bir altıgen gibi eşit kenarlı şekillerin optimum sonucu vermediğini iddaa etmiştir. Basit şekillerin daha başarılı olduğu görülmüştür. İki eşmerkezli eşkenar üçgen buna örnek olarak gösterilebilir. Daha sonra teorik analizi gözden geçirilip, bir Wi-Fi ağında RSS ve varış zamanını (TOA) ve bir ZigBee ağında ise değişen modaliteler incelenerek deneysel sonuçlar sunulmuştur. Genel olarak, çapa yerleştirme ile ilgili önceki çalışmalar sınırlıdır. Spesifik olarak, buradakilerden farklı olan belirli kullanım durumlarına ve varsayımlarına odaklanılmaktadır. Çalışmaların ortak kapsayıcı konusu, çapaları ağın kenarlarına yerleştirmek olmaktadır.

1.7. DV-Hop Lokalizasyon

DV-Hop lokalizasyon algoritması, mesafe vektörü yönlendirme protokolüne [134] dayanan, dağıtılmış, aralıksız bir lokalizasyon algoritmasıdır. Buradaki ana prensip, KAA'lerdeki ortalama sıçrama mesafesini çapa düğümlerinin sıçrama sayısı ile çarparak çapa düğümleri ve bilinmeyen düğümler arasındaki mesafeleri hesaplamaktır. Daha sonra bilinmeyen düğümlerin konum bilgisi trilaterasyon, nirengi ve multilaterasyon [135] ile elde

edilmekte ve böylece lokalizasyon gerçekleştirilmektedir. Kablosuz algılayıcı düğümlerin rastgele düzenlenmesiyle oluşturulan bir ağ topolojisi için, çapa düğümlerinden bilinmeyen düğümlere giden yollar çok büyük ihtimalle düz değildir. Bu nedenle, DV-Hop algoritması [136] kullanılırken düğüm lokalizasyon sürecinde bazı hatalar olması muhtemeldir. Ayrıca, sekme sayısı ne kadar fazlaysa, hatalar da o kadar büyük olmaktadır. Diğer bir deyişle bir hata birikimi söz konusudur.

Spesifik olarak, DV-Hop algoritmasını kullanırken lokalizasyon süreci aşağıdaki üç aşamadan oluşur [137, 61]:

- Taşma: İlk aşamada, örneğin A_i , her çapa düğümü, konum koordinatlarını ve başlangıçta 0'a ayarlanmış bir atlama sayısı alanını içeren bir mesaj yayınlar. Mesaj her seferinde yeniden yayımlandığında atlama sayısı değeri diğer düğümler tarafından artırılır.

Çapa veya algılayıcı düğüm olan bir düğüm N ilk kez böyle bir mesaj aldığı anda, A_i 'nin konumunu kaydeder, mesajda bulunan atlama sayısı değerini artırır ve yerel değişken hop_i 'yi artan atlama sayısı değeriyle başlatır. Burada hop_i , N ve A_i arasındaki minimum atlama sayısını temsil eder. Aynı mesajın aynı çapa A_i 'den gelen başka bir kopyası daha sonra N tarafından alınır, önce yeni alınan mesajdan atlama sayısı değerini alır, ona bir artış verir, sonra bunu yerel değişken hop_i değeriyle karşılaştırır. hop_i 'nin değerini yalnızca, yeni atlama sayısı değeri, hop_i 'nin mevcut değerinden küçükse günceller ve ardından, artan atlama sayısı alanı değeriyle mesajı yayınlar. Aksi takdirde, mesajı görmezden gelir (yeniden yayınlamaya gerek olmadan). Bu aşamanın sonunda, tüm kablosuz düğümler, çapalar ve çapa olmayanlar, ağdaki her çapa düğümünden minimum sıçrama mesafesine sahip olacaktır.

- Ortalama Mesafe/Sıçrama Hesaplama: İkinci aşamada, her bir çapa düğümü, A_i , konum koordinatlarını ve diğer tüm çapalardan/örneğin A_j 'den atlama sayısı değerlerini aldıktan sonra, denklem 4'ü kullanarak sekme başına ortalama mesafeyi hesaplar ($Hopsiz$ A_i):

$$Hopsiz A_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} hops_{ij}} \quad (4)$$

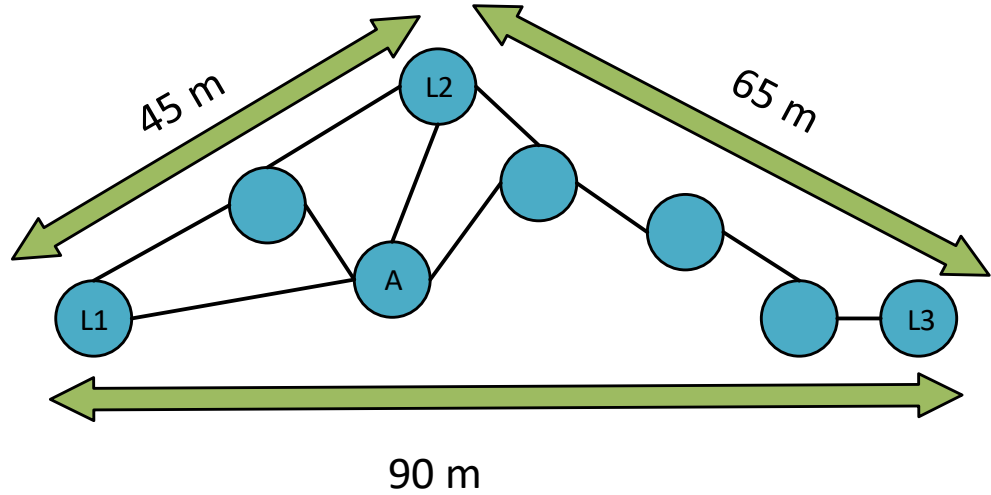
Burada (x_i, y_i) , çapa A_i 'nin koordinatlarını ve $hops_{ij}$, A_i 'den A_j 'ye atlama sayısını temsil eder. Tüm çapa düğümleri daha sonra $Hopsiz$ 'lerini (basamak uzunluğu) ağda yayınlar.

$$distance_{N,A_i} = Hopsiz A_i \times hop_i \quad (5)$$

DV-Hop lokalizasyon algoritmasının örnek ağ topolojisi Şekil 7'de gösterilmektedir. Çapa düğümleri L1, L2 ve L3 arasındaki mesafeler ve sıçrama sayıları bilinmektedir. A ise bilinmeyen bir düğümü temsil etmektedir. Denklem 5'e göre ortalama sekme mesafesi $(45 + 65)/(2 + 4) \times 18.33$ m olarak hesaplanabilir. Burada bilinmeyen düğüm A, çapa düğümü L2'den ortalama sıçrama mesafesini alır. Bu temelde, denklem 5'e göre, üç çapa düğümü L1, L2 ve L3 ile bilinmeyen düğüm A arasındaki mesafeler sırasıyla 1×18.33 m, 1×18.33 m ve 2×18.33 m'dir.

- **Düğüm Konumunu Tahmin Etme:** Bir çapa düğümü olan A_i , sensörden $Hopsiz A_i$ değerlerini aldıktan sonra N düğümü, A_i çapa düğümüne olan tahmini mesafesini aşağıdaki gibi hesaplayabilir.

Hop_i , N ve A_i arasındaki atlama sayısıdır. Sensör düğümü N, en az üç çapa düğümünden olan mesafesini hesapladıktan sonra konumunu tahmin etmek için nihayet üçgenlemeyi [42] kullanabilir.



Şekil 7. DV-Hop lokalizasyon örneği.

DV-Hop algoritması basit, hesaplama açısından daha az karışık ve düşük maliyetli (yani, aralık gerektirmeden) olmanın avantajlarına sahip olsa da, özellikle düşük yoğunluklu ağlarda düşük doğruluktan muzdariptir. Örneğin, tüm çapalardan aynı atlama mesafesine

sahip bir çift düğüm (kablosuz algılayıcı ağlarda çok nadir olmayan bir senaryo), gerçekte iki düğüm birbirinden çok uzakta olsa bile aynı tahmini konuma sahip olacaktır.

Tez çalışmamızda ise normal DV-Hop lokalizasyonundan [138] farklı olarak, hibrit DV-Hop lokalizasyon yöntemi [139] kullanılmış ve çalışmamızdaki laterasyon tekniği ile mukayese edilmiştir. Söz konusu hibrit DV-Hop yöntemi literatürde nispeten yeni olan bir tekniktir. Bu yönüyle tezimizin mukayese anlamında literatürdeki yenilikleri takip ettiği bir defa daha görülmektedir.

Daha önce bahsedildiği gibi, hibrit algoritma, DV-Hop algoritmasını kullanarak kablosuz düğümlerin lokalizasyonunu gerçekleştirirken iki adıma sahiptir. İlk adımda, çapa düğümleri ve onların tek sekmeli komşu sensör düğümleri arasındaki mesafeleri tahmin etmek için RSSI değerleri kullanılır ve ardından orijinal DV-Hop algoritmasında yapıldığı gibi ortalama sıçrama mesafesinden istifade etmek yerine bu şekilde tahmin edilen mesafeleri kullanılır. Modern kablosuz sensör düğümlerinin çoğunda bulunan MAC alt katmanı, alınan her paket için RSSI değerini hesapladığı ve bu değeri daha yüksek katmanlara ilettiği için, herhangi bir özel donanım gerektirmez veya ek maliyet gerektirmez. İkinci olarak, bir sensör düğümünün konumu belli olduktan sonra, daha sonra diğer sensör düğümlerini konumlandırmak için kullanılan bir çapa görevi görmesine teşvik edilir. Ek (dönüştürülmüş) çapa düğümlerinin mevcudiyeti, kalan sensör düğümlerinin konumlarını tespit ettirirken doğruluğu artırır. Bu, özellikle düşük çapa düğüm yoğunluğuna sahip kablosuz ağlarda yararlıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Günümüzde konumlandırma teknolojilerinin varlığı, kolaylıklarının yanında çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir. Gerek cep telefonları gerekse diğer kablosuz aygıtların yaygın kullanımı konum bilgisinin hayatın çoğu alanında kullanılmasını daha kolay hale getirip, yaygınlaştırmıştır. Konum bilgisi bu anlamda gerek güvenlik gerekse trafik vb. alanlarda sıklıkça kullanılmaktadır. Ancak lokalizasyon süreci gerçekleştirilirken hem yüksek doğrulukla hem de ekonomik olarak gerçekleştirilmesi literatürde önemle izah edilen bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tez kapsamında lokalizasyonu daha verimli hale getirecek olan optimal çapa düğüm yerleşimi konusu üzerinde durulmuştur. Daha önceki bölümdende hatırlanacağı üzere, literatürde KAA yapılarında verimli lokalizasyon alanında yapılan çalışmaların önemli çoğunluğu var olan düğümler arasından verimli olanların çapa düğüm olarak seçilip atanması veya geleneksel anlamda yerleşimi üzerine gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmalarda ana hedef çalışmaya göre lokalizasyon doğruluğu veya minimum çapa düğüm sayısını elde etmek üzerine olmuştur. Bu çalışmada ise her iki hedef metasezgisel ve deterministik optimizasyon yöntemleriyle dengeli bir şekilde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu anlamda her iki hedefin gerçekleştirilebilmesi özellikle literatüre kıyasla optimum yerleşimi sağlamaktadır.

Bu uygulama hayata geçirilirken, düşük maliyetle tüm düğümlerin yüksek doğrulukta lokalizasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmamızdaki gerekli olan ve değişebilen veriler sürü izleme, heyelan ve yanardağ izleme gibi büyük ölçekli dağıtılmış KAA lokalizasyonlarında, süreç için icra bilgisi niteliğinde olacaktır. Söz konusu konum bilgisi, yukarıdaki uygulamalarda insan hayatını kurtarma veya sürü hayvanlarının kaybını önleme işlevlerine hizmet ettiği için faydalı bir veri türü haline gelmektedir. Örneğin heyelan izleme sürecinde yere sıkıştırılmış düğüm noktalarının pozisyonları uzun süre izlenmektedir. Bu düğümlerden birinde veya daha fazlasında bir miktar konum değişikliği gözlemlenirse, heyelanlar için erken uyarı üretilir ve bu bilgi, çapa düğümü aracılığıyla gerekli birimlere iletilir. Sığır veya koyun sürülerinin izlenmesi sürecinde hayvanların konumları ve sürüden ayrılan veya kaybolan sürü hayvanlarının olup olmadığı takip edilir.

Ayrıca gerek GPS entegre modülünün azlığı, gerekse çapa düğüm seçiminin, baz istasyonu diğer bir deyişle merkezi bilgisayar tarafından gerçekleştirilmesi tezimizde olabilecek en az donanımın kullanılması hedefini ortaya koymaktadır.

Kısaca tezde önerdiğimiz model esas olarak şu aşamalara sahiptir:

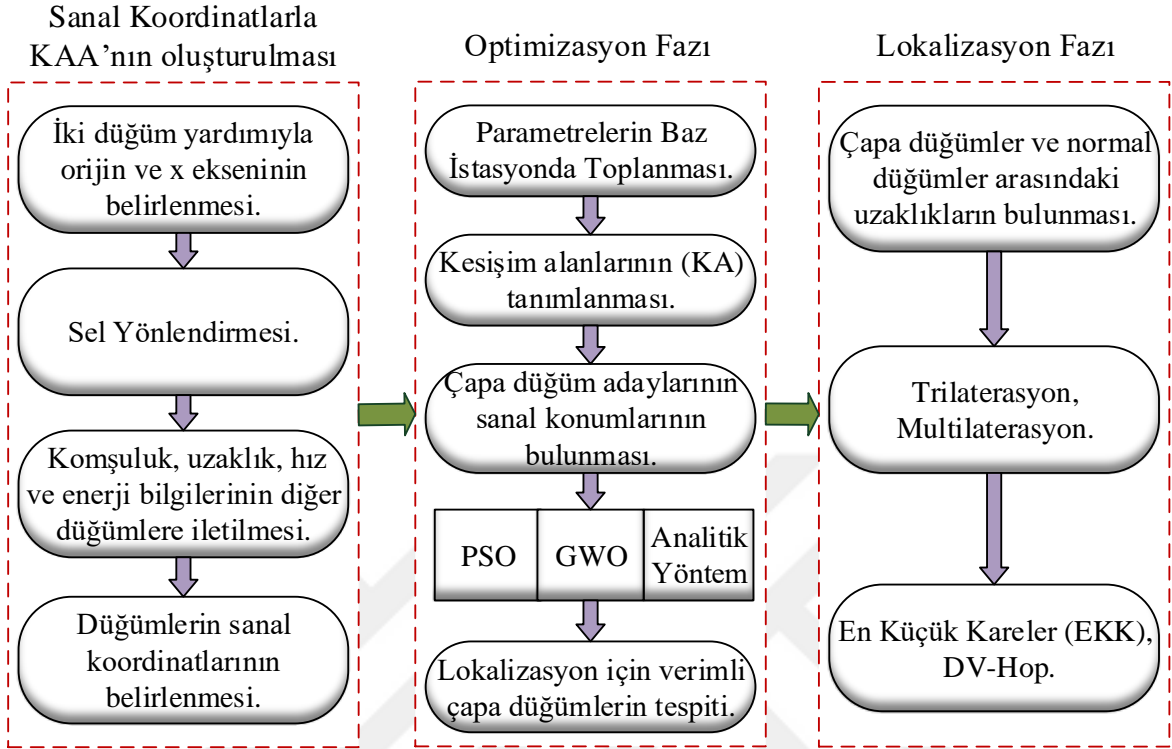
1. Optimizasyon parametrelerini tespit edebilmek için geçici bir sanal koordinat sistemi ve sanal bir lokalizasyonun gerçekleştirilmesi.
2. Bu sanal koordinat sistemi içerisinde çapa düğümlerin olabileceği potansiyel yerler olan düğümler arası kesişim alanlarının (KA) tespit edilmesi.
3. Söz konusu KA'lar içinde olası çapa düğümü yerleşiminin yapılabileceği konumları tespit için ağırlıklı kütle merkezi (weighted centroid) lokalizasyonunun gerçekleştirilmesi.
4. Gerçek anlamda minimum çapa düğümüyle en isabetli lokalizasyonu yapabilmek amacıyla ilgili potansiyel çapa düğüm konumlarından metasezgisel optimizasyon yöntemleri yardımıyla en verimli çapa düğüm konumlarının seçilmesi.
5. Baz istasyondan başlayarak ilgili seçilmiş konumlu çapa düğüm yerleşimlerinin vasıtasıyla tüm KAA yapısı için lokalizasyonun sağlanması.

Ayrıca, önerilen sistem, büyük ölçekli bir gezgin KAA'nın süreklilik arz edecek şekilde iteratif lokalizasyonları üzerine tasarlanmıştır. Geleneksel bir KAA'da, çapa düğümleri ve diğer düğümler benzer bir fiziksel işleve sahiptir. Bununla birlikte, bu modelde, bir KAA'da lokalizasyon süreci için çapaları bulmak için en verimli konumları bulma ile ilgili bir süreç mevcuttur. Burada lokalizasyon için çapa düğüm yerleştirme yöntemimiz sunulmaktadır. Bu anlamda öncelikle sistem modelimiz üzerinde aşağıdaki varsayımları yapmamız gerekmektedir:

- Gözlemlenen kablosuz sensör ağı, altyapısız bir ağ ve konumu bilinmeyen gezgin düğümlere sahiptir.
- KAA yapısındaki tüm cihazlar aynı teknik özelliklere ve kapsama alanına sahiptirler.
- Çapa düğümü adaylarının kapsama alanı içinde tüm konumu bilinmeyen düğümler bulunmayabilir.
- Bütün konumu bilinmeyen düğümler en az üç çapa düğüm adayının kapsama alanı içinde bulunmayabilir.
- Bütün düğümler çok yönlü (omnidirectional) antenler ve ivmeölçerler taşımaktadırlar.
- KAA içindeki bütün bağlantılar çift yönlüdür.
- Gezgin düğümlerin hızı maksimum 15 m/s olabilmektedir.

Söz konusu sistem yapısı içindeki fonksiyonlar aşağıda anlatılacaktır. Ancak bunlardan önce ilgili kablosuz ortama ait kanal modeli ve tüm düğümlerin sahip olduğu

gezinlik modeli hususlarının anlatılması gerekmektedir. Tezde kullanılacak olan sistem yapısı Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Genel Sistem Yapısı

2.1. Kanal Modeli

RSSI, düğümler arasındaki mesafeleri tanımlamak için kullanıldığından ötürü, kanal modelini açıklamak gerekir. Radyo dalgalarının vericiden alıcıya Dünya yüzeyinin etkisi olmadan geçtiği varsayılmaktadır [140]. Farklı radyo yonga setleri için göreceli ölçeklemedeki farklılıklar nedeniyle, standart bir sinyal gücü ölçümüne sahip olunması hedeflenmiştir. Daha öncede söylendiği üzere her bir sensör düğümü, KAA yapılarında radyo frekans (RF) alıcı verici ve mikro denetleyici ile donatılmıştır. KAA'daki bir düğüm bir işaret aldığı anda, alınan işaret gücü (RSS) değeri, sinyalin iletim gücü ve verici ile alıcı düğüm arasındaki mesafe değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, iyi bilinen log-normal gölgeleme modeli kullanılmış olup, yayılma kaybı ve düğümler arası mesafelerle ilgili güç ölçümü içerilmektedir. Klasik gölge denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$p = p_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + x_0 \quad (6)$$

Denklemden (6), p_0 , d_0 'da alınan sinyal gücüdür ve d_0 referans noktasına olan uzaklıktır. Ortamdaki zayıflamanın artmasıyla p_0 azalır. d ise verici ve alıcı düğümler arasındaki gerçek mesafedir. x_0 , gölgeleme faktörünü ifade etmekte ve desibel (dB) bu terimin birimi olmaktadır. n bina tipi veya çevre ile ilgili olan yol kaybı katsayısı olarak açıklanabilir. Son olarak, p d uzaklığındaki RSS değerini ifade eder. Parametrik olarak, d , alıcı için alınan sinyal gücü p_r ve dalga boyu λ (metre) arasındaki ilişki, denklem 7'deki gibi gösterilir:

$$p_r = \frac{p_{tr} \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (7)$$

Burada p_{tr} gönderilen işaretin gücü olmaktadır. Buradanda yola çıkılarak yol kazancının (PG), λ faktörüne bağlı olduğu şöyle ortaya çıkmaktadır:

$$PG = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (8)$$

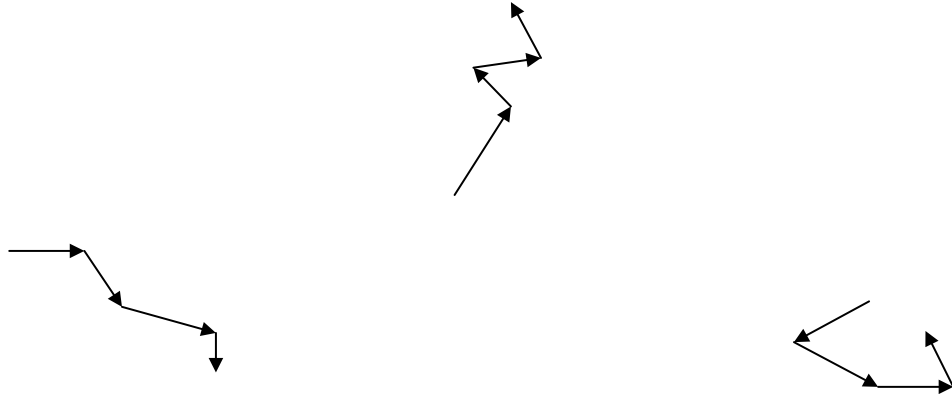
Yol kaybı yerine yol kazancı kullanılabilir. Ayrıca bu durum RSS'nin doğrudan etkisini gösterir. Öte yandan, yol kazancı yerine bu terimin kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, boş alan modeli için yol kaybı değeri 2 olmaktadır [141]. Serbest alan modeli, yüksek rakımlı yerlerde bulunan antenlere yakın noktalar için faydalı bir tekniktir.

2.2. Gezginlik Modeli

Çalışmamızdaki sistem modelini anlatmadan önce ele alınması gereken bir diğer durum ise gezginlik modelidir. Gezgin KAA içindeki zorlukları ele almak için gezginlik durumlarına dair birçok araştırma yayınlanmıştır. Ad hoc ağlardaki gezginlik modelleri, düğümlerin bireysel hareket davranışlarıyla ilgilenir. Bir gezginlik modeli, gerçek gezgin düğümlerin hareketlerini taklit etme girişimindedir. Geçici ağlar [142] için aşağıdaki gezginlik modelleri çoğunlukla kullanılmaktadır:

- Rastgele Yürüme Gezinlik Modeli
- Rastgele Yol Noktası Gezinlik Modeli
- Rastgele Yönlü Gezinlik Modeli
- Gauss-Markov Gezinlik Modeli
- Referans Noktası Grubu Gezinlik Modeli
- Engel Gezinlik Modeli
- Sanal Yol Tabanlı Grup Gezinlik Modeli

Bir hücresele ağda veya kişisel iletişim sisteminde (PCS) bir protokolün performans değerlendirmesi için başka gezinlik modelleride mevcuttur [143]. Bizim çalışmamızda kullanılan gezinlik modeli ise yavaş ve rastgele periyodik hareketlerle çoklu sürü yapısına uygun olan rastgele yürüyüş modeli olmaktadır. Rastgele bir yürüyüşte, her düğüm rastgele bir yön ($0-2\pi$ aralığında eşit olarak dağıtılacak şekilde) ve rastgele bir hız (tanımlanan $v_{min}-v_{max}$ aralığında) seçmekte; daha sonra bu hızla bir süre (veya sabit bir mesafe boyunca) bir sonraki periyoda kadar hareket etmektedir. Bu model, bir akışkan içinde asılı parçacıkların hareketine benzediği için genellikle Brownian hareketi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 9'da ilgili gezinlik modeli şematize edilmiştir.



Şekil 9. Rastgele yürüyüş gezinlik modeline sahip 3 düğüm.

Hareket aynı zamanda bir küre üzerinde de gerçekleştirilebilir. Ayrıca, uzun vadede, düğümler başlangıç noktalarına yakın kalma eğilimindedir, bu nedenle sınırlı bir hareketlilik söz konusudur.

2.3. Sanal Koordinat Sistemi Oluşumu ve Sanal Lokalizasyon

Bu alt bölümde, düğümlere dair parametrelerin tanımlanması gerekliliği nedeniyle kablosuz ağın geçici bir koordinat sisteminin nasıl kurulacağı gösterilmektedir. Bu düğümler, olası çapa düğümü yerleşimini belirlemek için parametre değerlerine sahiptir. Daha sonrada gösterileceği üzere bu parametreler optimizasyon kısmında da kullanılacaktır. Capkun ve arkadaşlarının çalışmasında kullandıkları yöntem bu alandaki işlevi gerçekleştirmek için [144] temel alınmış ve çapa düğüm yerleşim sorunu için revize edilmiştir. Bu çalışmada, geçici bir ağdaki düğümlerin GPS'siz konumlandırılması için bir algoritma önerilmektedir. Söz konusu çalışmanın amacı, bir altyapının olmadığı ve GPS'in kullanılmadığı senaryolarda, düğümlerin konumlarını elde etmektir. GPS içermeyen konumlandırma, özellikle GPS sinyali çok zayıf olduğunda (örneğin kapalı alanda) veya maliyet, entegrasyon nedenlerinden ötürü bir GPS alıcısının dahil edilmesinden kaçınılması gerektiğinde arzu edilir. Düğümlerin ağ alanındaki konumlarını yalnızca yerel bilgilerini kullanarak bulmalarını sağlayan bir algoritma, çalışmamız için temel teşkil etmektedir. Algoritma, Kendinden Konumlandırma Algoritması (SPA) olarak adlandırılmaktadır. Bir ağ koordinat sistemi oluşturmak için düğümler arasındaki uzaklık ölçümleri kullanılır. Uzaklık ölçüm hatalarına ve düğümlerin hareketine rağmen, söz konusu algoritma, temel ağ işlevlerini sürdürmek için yeterli kararlılık ve konum doğruluğu sağlamaktadır. Geçici ağlardaki düğümler genellikle coğrafi konumlarının farkında değildir. Algoritmamızda GPS kullanılmadığından, algoritma düğümlerin ağ topolojisine göre göreceli konumlarını tespit eder. Bu tür uygulamada yönlendirme senaryosunun iki örneği, Konum Destekli Yönlendirme [145] ve Jeodezik Paket İletim [146] olmaktadır. Jeodezik paket iletimi içinde yönlendirme algoritması, kaynak paketleri hedef düğümün fiziksel yönünde gönderir. Çok yönlü antenler kullanıldığında, kendinden konumlandırma algoritması, Jeodezik Paket Yönlendirmeyi desteklemek için her düğüme yeterli bilgi sağlar. Verilen düğüm, göreceli koordinat sistemindeki hedef düğümün konumunu ve pozisyonlarını bilir, paketleri hangi yönde (hangi sonraki sıçrama düğümüne) göndereceğini hesaplayabilir. Çalışmamızda düğümler, olası çapa düğümü yerleşimini belirlemek için parametre değerlerine sahiptir. KAA'da rastgele seçilen bir düğüm (i), geçici koordinat sisteminin orijini (0,0) oluşturur. Söz konusu düğüm (i), başka bir j düğümü ile doğrudan iletişim kurabilirse, i j 'nin bir sekmeli komşusu olarak tanımlanır. Aşağıdaki işlem KAA'daki her düğüm için yürütülür:

- Düğümler, tek atlamalı komşularını (N_i) algılar,

- Bahsedilen tek atlama komşulara (D_i) olan mesafeleri ölçerler,
- Düğümlerin batarya seviyelerini (E_i) ve hızlarını (M_i) ölçer,
- N_i , D_i , E_i ve M_i 'yi tüm tek atlamalı komşularına gönderirler.

Ağdaki tüm geçmiş komşuluk, mesafe ve yukarıdaki diğer bilgiler tüm ileri yöndeki düğümlere iletilir. Dolayısıyla, KAA'daki her düğüm bir ve iki atlamalı komşu düğümlerini bilmektedir. Ayrıca, bir atlama ve iki atlamalı komşu düğümler arasındaki mesafeler de bilinmektedir. Şekil 10'da ilgili düğüm olan i ve bir sekmeli komşuları gösterilmektedir. Bu yöntemde iki düğüm (j,k) gereklidir. Ayrıca i , j , ve q aynı hizada olmamalıdır. X ekseninde j düğümünün bulunduğu düşünürsek, k pozitif bir k_x bileşenine sahiptir. Bu düğümlerin koordinatları şöyle verilmiştir:

$$i_x = 0; \quad (9)$$

$$i_y = 0; \quad (10)$$

$$j_x = d_{ij}; \quad (11)$$

$$j_y = 0; \quad (12)$$

$$k_x = d_{ik} \cos \gamma; \quad (13)$$

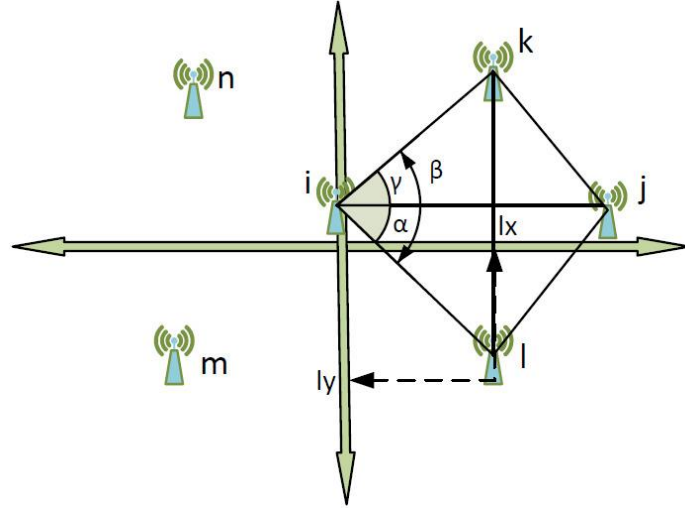
$$k_y = d_{ik} \sin \gamma; \quad (14)$$

Böylece γ , α ve β açıları aşağıdaki gibi bulunabilmektedir:

$$\gamma = \arccos \frac{d_{ik}^2 + d_{ij}^2 - d_{jk}^2}{2d_{ik}d_{ij}} \quad (15)$$

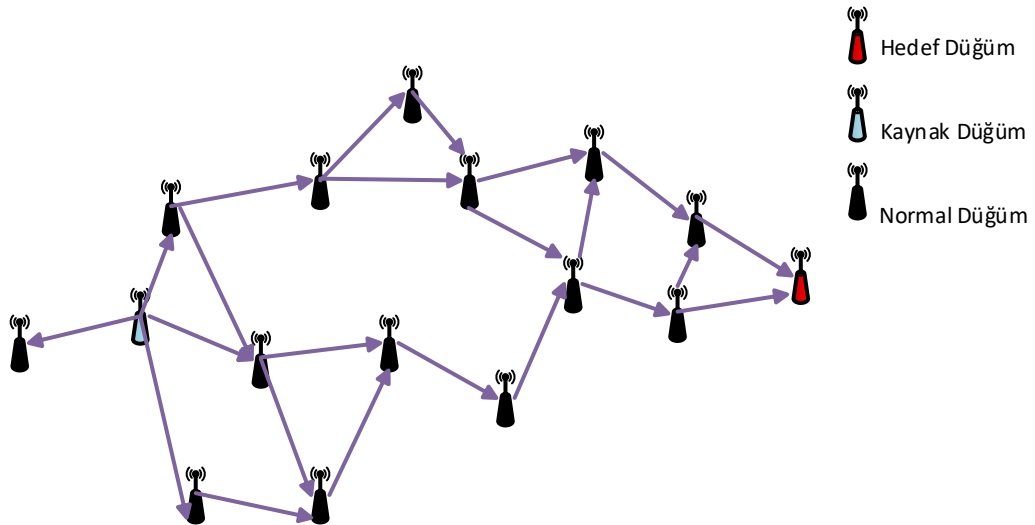
$$\alpha = \arccos \frac{d_{il}^2 + d_{ij}^2 - d_{jl}^2}{2d_{il}d_{ik}} \quad (16)$$

$$\beta = \arccos \frac{d_{ik}^2 + d_{il}^2 - d_{kl}^2}{2d_{ik}d_{il}} \quad (17)$$



Şekil 10. Bir atlama (basamak) seviyesindeki düğümlerin oluşturduğu sanal koordinat sistemi.

Sanal yerel koordinat sistemi oluşturulduktan sonra bu düğümlerin diğer verileriyle tüm sanal koordinatlar, flooding algoritması vasıtasıyla son bir çapa düğümde veya baz istasyonunda toplanır. Şekil 11’de temel flooding veri iletim durumu gösterilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere veri kaynaktan gönderildikten sonra yolu üzerindeki bütün düğümler üzerinden birden çok rotayla hedefe iletilebilmektedir. Bu anlamda aynı veri bir düğüme birden çok yön üzerinden birden fazla şekilde iletilebilmektedir. Düğümlerin belirtilen yöntemle sanal olarak yerleştirilmesinden sonra, sistem KAA yapısında en uygun çapa yerleşimini bulmaya hazırdır. Çalışmamızda tek (merkezi) baz istasyonu kullanımı ve en az donanım ile tüm KAA yapısına optimize edilmiş çapa düğümü yerleşimi amaçlanmıştır.

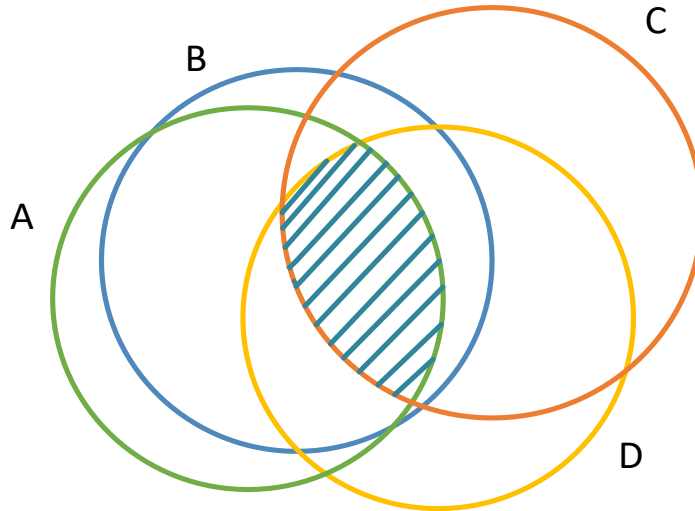


Şekil 11. KAA yapısında flooding veri gönderim örneği

2.4. Çapa Düğüm Adaylarının Tespiti

Kesişim alanları (IA), KAA yapısında çapa düğümü yerleşimi için en iyi yerlerdir. Birçok lokalizasyonu gerçekleştirilmemiş düğümle iletişim kurmaya izin verebileceğinden böyle bir avantajları vardır. Yani IA'lardaki çapa düğümleri birçok trilaterasyon veya multilaterasyon sayesinde daha fazla düğüm için lokalizasyonu gerçekleştirilmemiş durumdan lokalizasyonu yapılmış duruma geçebilirler. Verilerin birleştiği çapa düğümleri veya baz istasyonları, düğümlerin IA'larını bulur. Baz istasyonları aynı IA için kaç düğümün kesiştiğini de bilmektedir. Bunun için ise düğümlerin dışbükey kapanışını bulmak gerekir. IA'nın tepe noktaları iki dairenin kesişimidir. Şekil 12, düğümler arasındaki IA'nın basit bir örneğini göstermektedir. Bu IA'lar Graham tarama tekniği [147] gibi algoritmalar tarafından belirlenir. Söz konusu algoritma dışbükey sınırın uç noktalarını belirlemek için kullanılır. Bu maksimum noktalar belirli bir küme içinde toplanmaktadır.

Shi ve arkadaşları ise girişim (enterferans) azaltımı nedeniyle KAA yapısı içinde kesişim alanlarına baz istasyonu yerleştirme fikrini uygun görmüşlerdir [148]. Çalışmaya dair algoritma iki adım içerir. İlk olarak, tüm sensör düğümlerinin baz istasyonuna veri iletebilmesi için baz istasyonunun yerleştirebileceği uygun bölge belirlenmektedir. İkinci olarak, ortak ölçeklendirme faktörünü maksimize etmek amacıyla baz istasyonu için uygulanabilir bölge içinde uygun bir konum bulunmaktadır. Söz konusu çalışmanın ise iki esas temel noktası mevcuttur.



Şekil 12. KAA yapısında bir kesişim alanı (IA) örneği

- Uygulanabilir bölgeyi bulmak için sadece ilgili alandaki tüm düğümlerin dışbükey kapanışının bulunması ve dışbükey kapanmanın sınırındaki düğümlerin dikkate alınması gerekir.
- İki dairenin kesişme noktaları, ancak ve ancak tüm disklerin içindeyse çokgenin köşeleridir.

Burada iki durum vardır. KAA'daki herhangi iki düğüm kapsama alanını ifade eden çemberlerin sınırları dâhilinde bir noktada asla kesişemez veya bulunamaz. Yani, bu tür iki düğüm için IA mevcut değildir.

Algoritma 1 IA Tespiti

N dışbükeyinin yarıçapını r and sınır düğümlerin kümesini S olarak tanımla.

C 'yi merkezinde S_i düğümünün ve i ve j indekslerine sahip çemberlerin bulunduğu çember kümesi olarak tanımla.

$M = \emptyset$ olarak tanımla

C_i ve C_j 'yi merkezleri sırasıyla CC_i , CC_j olan çemberler olarak tanımla

Bu dairelerin kesişiminin olup olmadığını bul.

Eğer CC_i ve CC_j arasındaki uzaklık $\geq 2r$

Değer=0/

değilse

C_i ve C_j arasında kesişim noktaları ve alanı var. M_{ij} yi M içine kaydet.

M dışbükey kümesine dön.

Şekil 13. Kesişim alanı (IA) tespiti sözde kodu.

Bununla birlikte, iki noktalı bir kesişimin varlığı, iki daire arasında bir IA oluşturur. Şekil 13'de algoritmaya dair, IA algılamasının sözde kodu gösterilmektedir. Sözde kodda da ifade edilen iki düğüm arasındaki bu IA ilişkisini şöyle açıklayabiliriz:

$$\begin{cases} \sqrt{(x_{CC_i} - x_{CC_j})^2 + (y_{CC_i} - y_{CC_j})^2} < 2R & IA = 1 \\ Else & IA = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Sistem modelimizde, aynı IA için minimum eşik düğüm sayısı olarak 3 tanımlanmıştır. Örneğin, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, çiftler olarak h ve i , h ve j ve i ve j düğümleri arasında IA'lar varsa, 3 çift IA'nın varlığı nedeniyle h , i ve j düğümlerinin bir IA'sı mevcuttur. Ayrıca, a ve b , a ve c , a ve d , b ve c , b ve d ve c ve d düğümleri arasında çiftler olarak IA'lar varsa, a , b , c ve d düğümlerine ait bir IA mevcuttur. Diğer bir ifadeyle 6 tane

ikili kesişim alanı sebebiyle 1 tane dörtlü yani dört düğümün kesişim alanı söz konusudur. Şöyle ki, bu durum aşağıda verildiği gibi açıklanmaktadır. Burada t toplam düğüm sayısı bir IA'yı kapsamaktadır, p ise aynı IA'yı içeren çift veya iki düğümlü kesişimlerin sayısıdır. T için negatif çözümü ihmal edersek:

$$C\binom{t}{2} = p \quad (19)$$

$$(t - 1)t = 2p \quad (20)$$

$$t^2 - t - 2p = 0 \quad (21)$$

$$\Delta = 1 - 4(-2p) \quad (22)$$

$$\Delta = 1 + 8p \quad (23)$$

$$t = \frac{1 + \sqrt{1 + 8p}}{2} \quad (24)$$

2.5. Çapa Düğüm Adaylarının Sanal Koordinatlarının Tespiti

Aşağıdaki şekilde'de gösterildiği gibi α , β , θ , φ , δ , ρ ve γ IA'ları sırasıyla 4, 3, 4, 3, 3, 5 ve 3 düğümün kapsama alanı içindedir. Dolayısıyla, IA aralığındaki bağlı düğümlerin artan sayısı, KAA'daki yinelemeli (iteratif) lokalizasyonunun genişlemesini olumlu yönde etkiler. Bu IA'lardaki noktalar, çapa düğümlerinin yerleri olmaya adaylardır. Bu noktaları (x, y) iki yaklaşımla değerlendirebiliriz. İlk teknik basit bir ağırlık merkezi yöntemidir. Bu noktaların (x, y) koordinatları aşağıdaki gibi elde edilir:

$$(x, y) = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}, \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} \right) \quad (25)$$

x_1, x_2, \dots, x_n ve y_1, y_2, \dots, y_n , sırasıyla x ve y eksenlerindeki düğümlerin koordinatlarıdır. Ayrıca ağırlıklı ağırlık merkezi (WC-Weighted Centroid) yöntemi de belirtilen noktaları bulmanın başka bir yoludur. Basit ağırlık merkezinin sonucu WC yönteminin başlangıç noktasıdır. Dolayısıyla, (x, y) , ağırlıklı ağırlık merkezi yöntemi için

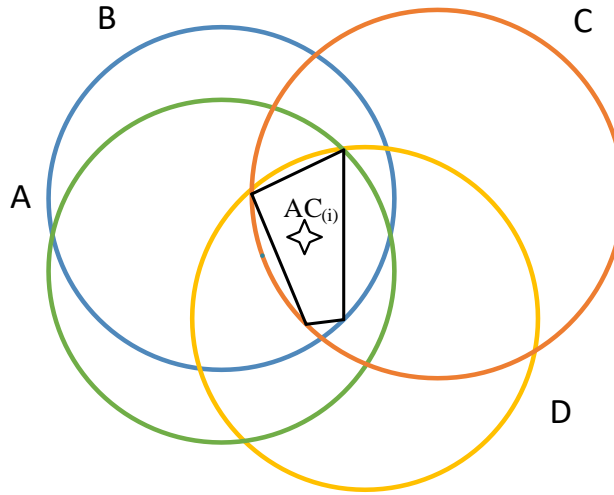
her düğümün ağırlığını (w_{ij}) belirlemek için kullanılır. d_{ij} , i düğümü ile basit ağırlık merkezi yöntemi ile belirlenen koordinatlar (x, y) arasında ölçülen uzaklıktır. Ardından, basit ağırlık merkezi yöntemiyle kesişim alanı içindeki basit ağırlık merkezlerine ait konumlar bulunur. w_{ij} şu şekilde ifade edilebilir:

$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (26)$$

Böylece WC algoritması, çapa adaylarının konumlarını şu şekilde tahmin eder:

$$P_{iw}(x, y) = \frac{\sum_1^n w_{ij} P_i(x)}{\sum_1^n w_{ij}}, \frac{\sum_1^n w_{ij} P_i(y)}{\sum_1^n w_{ij}} \quad (27)$$

n , çapa düğümü i 'nin toplam "komşu düğüm sayısıdır. Ağırlık faktörü, mesafe (d_{ij}) ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, ilk çapa aday konumuna en yakın çapa, denklem 25'deki basit bir ağırlık merkezi algoritması ile bulunur. Bu durum denklem 27'deki çapa düğüm adayının son konumunu belirlemede en fazla etkiye sahip olacaktır. Şekil 14'te IA içinde belirlenen sembolik bir çapa düğüm adayı gösterilmektedir.



Şekil 14. A,B,C ve D düğümleri kesişim alanı (IA) içinde bulunan çapa düğüm adayı.

Tüm ağdaki çapa düğüm adayı konumlarının belirlenmesinden sonra, verimli çapa düğüm noktalarını seçmek için GWO ve PSO kullanılmaktadır. Bu amacı gerçekleştirirken, ilgili optimizasyon yöntemine ait uygunluk fonksiyonu önemli bir rol oynamaktadır.

Optimizasyondaki her eleman (agent) uygunluğu gerektiğinden ve algoritmadaki uygunluk değerlerine göre en iyi, ikinci ve üçüncü kurtlar veya elemanlar listelenir.

2.6. Optimizasyonun Temelleri Ve Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerine Giriş

Optimizasyon, alternatifler arasında bir problem için en uygun çözümlerin tespiti ile ilgilenen bilimsel bir disiplindir. Çözümlerin optimalliği, genellikle soruna ve kullanıcıya bağlı olan bir veya birkaç kısıtasa dayanır. Örneğin, bir yapısal mühendislik probleminde, tasarımcının estetik ve operasyonel beklentilerinin yanı sıra, temel mühendislik spesifikasyonlarına uyan çözümleri kabul edilebilir. Kısıtlamalar kullanıcı tarafından veya sorunun kendisi tarafından oluşturulabilir, böylece olası çözümlerin sayısı azaltılabilir. Bir çözüm tüm kısıtlamaları karşılıyorsa, buna uygulanabilir çözüm denir. Tüm uygulanabilir çözümler arasında, küresel optimizasyon sorunu, optimum olanın saptanmasıyla ilgilidir. Ancak bu her zaman mümkün veya gerekli değildir. Nitekim, optimum olana kıyasla kalitelerine bağlı olarak optimum altı çözümlerin kabul edilebilir olduğu durumlar vardır. Bu genellikle yerel optimizasyon olarak tanımlanır, ancak aynı terim aynı zamanda arama alanının çok yakın çevresinde yerel aramayı tanımlamak için de kullanılmıştır.

Modelleme aşaması optimizasyon prosedüründen önce gereklidir. Bu aşamada, asıl problem, tüm temel kısıtlamalar dikkate alınarak matematiksel olarak modellenir. Yapı taşları, aday çözümler sayısal değişkenlere çevrilir ve çözümler sayısal vektörler olarak temsil edilir. Dahası, küresel küçültücüleri, yani minimum değerinin elde edildiği noktalar, orijinal problemin optimal çözümlerine karşılık gelecek şekilde uygun bir matematiksel fonksiyonla oluşturulur. Bu işleve amaç işlevi adı verilir ve küresel küçültücü'nün tespiti, küresel optimizasyonun temel konusudur. Minimizasyon yerine, bir optimizasyon problemi, objektif fonksiyonun işaretini tersine çevirerek, aynı şekilde maksimizasyon olarak tanımlanabilir. Amaç işlevine bir alan, yani bir dizi uygulanabilir aday çözüm eşlik eder. Alan, eşitlik ve eşitsizlik ilişkileri kullanılarak matematiksel olarak tanımlanması gereken problem kısıtlamalarıyla sınırlandırılmıştır. En basit durumlarda, kısıtlamalar değişkenlerin sınırlayıcı kutuları ile sınırlıdır. Daha zor problemlerde ise değişkenler arasındaki karmaşık ilişkiler nihai çözümde yer almalıdır, bu da minimizasyon prosedürünü oldukça karmaşık hale getirir [149].

Genel olarak bir optimizasyon problemi şöyle ifade edilebilir:

$$f(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_D) \in \mathbb{R}^D, \quad (28)$$

$$h_i(\mathbf{x}) = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, I), \quad g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, J), \quad (29)$$

h_i ve g_j sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarıdır. Çoğu durumda, $f(\mathbf{x})$, $h_i(\mathbf{x})$ ve $g_j(\mathbf{x})$ problem fonksiyonlarının hepsi doğrusal değildir ve bu tür doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözülmesi zor olabilmektedir. Doğrusal programlama, ikinci dereceden programlama, dışbükey optimizasyon, iç nokta yöntemi, güven bölgesi yöntemi, eşlenik gradyan ve diğerleri dahil olmak üzere çeşitli optimizasyon teknikleri mevcuttur [150, 151].

Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları, biyolojik evrim, sürü davranışı ve fiziksel ve kimyasal süreçler [152] yollarıyla geliştirilen metasezgisel algoritmalarıdır. Doğadan ilham alan optimizasyon algoritmaları, algoritmalara zekayı dahil ettikleri için biyo-esinlenmiş hesaplamalı zeka teknikleri olmaktadır. Bu algoritmalarla ilgili araştırmaların sayısı, son yirmi yılda büyük bir hızla artmıştır. Bu konudaki ilk çalışmalar, 1960'larda John Holland ve Michigan Üniversitesi'ndeki akademisyenler tarafından evrimsel genetik algoritmanın (GA) geliştirilmesiyle ilk olarak başlamıştır. O zamandan beri, GA'nın birçok çeşidi ve melezleri olmak üzere birkaç evrimsel algoritma önerilmiştir. Evrimsel algoritmalar biyolojik evrime dayanmakta ve GA bu kategori altındaki klasik örneklerden birisi olmaktadır [153].

Optimizasyon algoritmaları, kısıtlamalar altında optimum çözümü bulmak için tasarlanmış matematiksel temele sahip geniş bir algoritma çeşididir. Nihai çözüm başlangıç koşullarına bağlı olduğundan, geleneksel algoritmalar her zaman küresel optimum çözümü garanti etmez. Aynı başlangıç noktasından başlarsa, geleneksel algoritmalar deterministik olduğu için aynı nihai çözüme varırlar. Klasik, türev tabanlı algoritmalar ise probleme bağlıdır ve nesnel fonksiyon ortamına dayanır. Bu nedenle süreksiz durumlarla ilgili problemler için uygun olmayacaklardır. Dahası, karmaşık, doğrusal olmayan, çok modlu problemler içinde doğru tercih değildirler [150]. Doğadan ilham alan algoritmalar, türevlerin hesaplanmasını gerektirmez; dolayısıyla gradyan içermezler ve probleme özgü değildirler. Algoritmalar, tekrarlanan çalışmalar için aynı başlangıç noktasından başlasa bile, yine aynı çözümle sonuçlanmayacaktır. Doğadan ilham alan algoritmalar gelişmeye ve ümit verici sonuçlar vermeye başladığından beri, çeşitli alanlardaki uygulamalarında bir artış yaşanmıştır. Mühendislik, endüstri, ekonomi, iletişim, bilgisayar bilimi, ağlar, işletme

yönetimi vb. alanlardaki uygulamalar buna iyi bir örnek olmaktadır. Doğadan ilham alan optimizasyon teknikleri şu çeşitlerden oluşmaktadır.

Biyo-esinlenmiş algoritmalar: Biyo-esinlenmiş hesaplama, hesaplamalı zekânın bir dalıdır ve bu kategorideki farklı algoritmalar biyolojik sistemlerin özelliklerine, evrimsel hesaplama ve sürü zekâsına dayanır [154]. Hesaplama açısından karmaşık, veri yoğunluğuna sahip olan ve geleneksel algoritmaları kullanarak çözülmesi zor bulunan problemler için daha uygundur. Biyo-esinlenmiş algoritmalar, çok yüksek olasılıklı durumlar geçerli olduğunda bir soruna optimum çözüme ulaşma noktasında etkilidir. Belirleyici değildirler ve araç yönlendirme, ağ yönlendirme, iş planlama vb. karmaşık sistemleri analiz etmede kullanılırlar. Basitlikleri ve içsel paralellikleri, popülerliklerinin ve geniş uygulama yelpazesinin iki ana nedenidir [155]. Esnekler ve ortamdaki değişikliklere uyarlanabilirler. Biyo-esinlenmiş algoritmalar yörünge tabanlı veya popülasyon tabanlı olabilmektedir. Tavlama simülasyonu gibi yörünge tabanlı algoritmalarda optimum çözüm arayışı başlangıçta tek bir noktadan başlar ve kademeli olarak optimuma ulaşır.

Genetik algoritma veya parçacık sürüsü optimizasyonu gibi popülasyon tabanlı algoritmalarda optimum arama, arama alanındaki bir partikül veya ajan popülasyonu ile paralel olarak gerçekleşir. Arama, geniş alanlı küresel arama (çeşitlendirme) ve yoğun yerel arama (yoğunlaştırma) arasında bir değiş tokuştur. Bu ikisi arasında iyi bir denge, en kısa sürede global optimum çözümü bulmak için gereklidir [156]. Metasezgisel algoritmalarla ilgili literatür, son yirmi yılda muazzam bir şekilde genişlemiştir. Yeni algoritmaların veya tek başına hareket eden algoritmalara veya mevcut algoritmaların çeşitlerine göre gelişmiş performans gösteren mevcut algoritmaların bir melezinin geliştirilmesi için çok fazla alan vardır. Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarının çoğu sezgiseldir, yani soruna kesin çözüm olmayabilecek en iyi yaklaşımı bulurlar. Ancak bu algoritmalar, deterministik algoritmalar için her zaman doğru olmayan bazı basitleştirici varsayımlarla sonlu zamanda yaklaşık çözümü üretirler.

Sürü Zekâsı Algoritmaları: Sürülerin kendi kendini organize eden kolektif zeki davranışının incelenmesi, 1990'ların ortalarından beri kapsamlı bir araştırma konusu olmuştur [157]. Sürü zekâsı (SI) algoritmaları, içsel paralelliğe sahip oldukları ve uyarlanabilir oldukları için çok güçlüdür. Sürü zekâsı algoritmaları, karmaşık, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini azaltılmış zaman, alan ve hesaplama karmaşıklığı ile çözüme oldukça etkilidir. Paralel olarak optimum çözümü arayan ve dolayısıyla verimli olan birden fazla arama aracı ile karakterize edilirler. Sürü üyeleri arasında bilgi paylaşır,

kolektif zekâlarını kullanır, kendi kendine organize olur ve doğaları gereği evrimseldirler [158]. Büyük bir sürü oluşumu, geniş bir alanda kaliteli yiyecek arayan ve kendilerini avcılara karşı koruyan çok sayıda üyeyi içerir. Kuş sürüleri, sürünün büyüklüğüne bakılmaksızın genellikle doğal bir yapıya sahiptir. Sürü, üç kural kullanılarak modellenmiştir: çarpışmadan kaçınma, hız eşleştirme ve sürü merkezleme. Sürüdeki kuşlar, çarpışmayı önlemek için her zaman komşularından güvenli bir mesafeyi korurlar ve bir arada kalmak için neredeyse eşit hızda uçarlar. Ayrıca sürünün merkezine göre konumlarını korurlar. Sürü istihbarat algoritmaları, hayvanlar, kuşlar ve böcekler gibi biyolojik organizmaların yiyecek arama stratejilerini içermektedir. En iyi yiyecek arama stratejisine sahip ajan çevrede hayatta kalır, çünkü gıda hayatta kalmak için gereklidir. Bu, bir arama sürecini içerir ve daha verimli arama stratejisine sahip araçlar, rekabet ortamındaki diğerlerine kıyasla hızlı bir şekilde başarılı olur. Bu tür yiyecek arama faaliyetlerinde, ajan veya elemanın özellikleri, büyüklüğü, zekâsı, sosyal davranışı, yiyeceğin yeri ve miktarı ve yiyeceği bulmak için gereken çaba gibi çeşitli faktörler vardır. Yırtıcı hayvanların ve çevrede gizlenen diğer tehlikelerin varlığı, ajanların bu tür güçleri savuşturma ve onlardan kaçma veya kendilerini bu tür avcılara karşı koruma yetenekleri de hayatta kalmak için hayati bir rol oynamaktadır. Dahası, ortam dinamik olduğundan, gıdanın kalitesi, miktarı ve yeri, tüketim ve belirli bir süre içinde meydana gelen diğer değişiklikler nedeniyle zamanla değişmeye devam eder. Bu, organizmanın değişen koşullara uyumlu ve çok yönlü olmasını gerektirir. Sürünün geçmiş başarılarının geribildirimini ve sürü üyeleri arasında gıda kalitesi ve yeri ile ilgili bilgilerin paylaşılması, yiyecek bulmayı kolaylaştırır. Bazı türler, yiyecek bulmada başarı şanslarını artıran ve sonuçta daha iyi hayatta kalma şansına yol açan sosyal yiyecek arama etkinliğini gerçekleştirir.

Metasezgisel Optimizasyon: Sezgisel tarama, sonlu zamanda bir problemi çözmede kesin bir çözüm elde etmenin mümkün olmadığı durumlarda kullanılan bir stratejidir. Buluşsal yöntemlerin uygulanması, soruna pratik olarak makul bir sürede tatmin edici bir yaklaşık çözüm sağlar, ancak bu doğru çözüm olmayabilmektedir. Genel bir kural kullanmak, daha önce benzer bir problemi çözmekten uyarlanan bir çözüm stratejisidir ve basit bir buluşsal yöntem örneği olmaktadır. Buluşsal yöntemler, tahminler gerektiren problemleri çözmede kullanışlıdır. Metasezgisel yöntemler, optimizasyon problemlerini, özellikle yapay zeka ve makine öğrenmesindeki gibi eksik verilere sahip olanları çözmek için kullanılan daha yüksek seviyeli buluşsal yöntemlerdir [159]. Bazı problemlerde, çözüm seti tamamen test edilemeyecek kadar büyük olduğundan, metasezgisel yöntemler

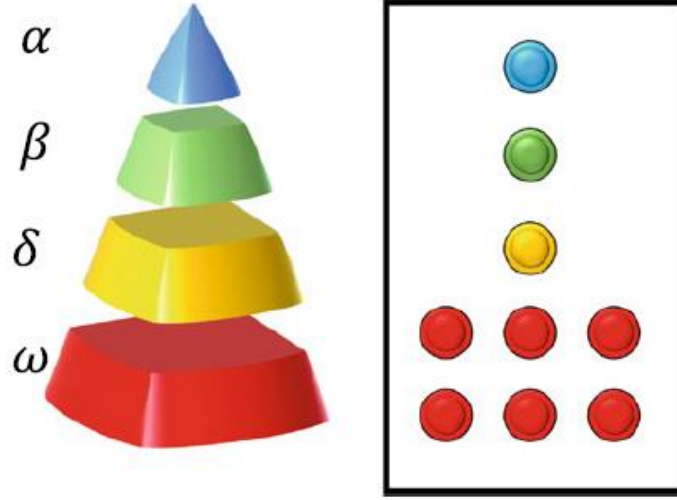
uygulanabilir. Kapsamlı olmadığından, tüm sorunlar için genel optimum çözüm bulunmayabilir. Metasezgisel, stokastik optimizasyonda uygulanabilir ve kombinatorial optimizasyonda, bir ayrık uygulanabilir çözüm kümesini araştırır. Normal yöntemlere kıyasla daha az hesaplama gerektirirler. Metasezgisel yaklaşım, çok çeşitli optimizasyon algoritmalarının uygulanmasına uygulanan genel bir stratejidir [160]. Metasezgisel algoritmalar her zaman herhangi bir problem üzerinde çalışır ve soruna en iyi veya kesin çözüm olmasa da faydalı bir çözüm bulur. Burada önemli nokta, çözüme pratik uygulamalar için uygun olan makul sonlu bir zamanda ulaşılmasıdır. Metasezgisel algoritmaların çoğu arama algoritmalarıdır, ancak arama alanında her olası aday çözümü aramak imkansızdır. Bu nedenle bazı buluşsal yöntemler gereklidir. Sezgisel yöntemler aramaya dahil olduğu için, çözümün en iyi veya küresel optimum olacağının garantisi yoktur. Çözüm, problem için en iyisi (küresel olarak optimum) veya optimuma yakın olabilir (iyi yaklaşım). Bu algoritmalar, duruma göre onlarca veya yüzlerce yinelemede sonlu zamanda birleşir. Bu tür algoritmaların önemli özelliklerinden biri, her yinelemede mevcut çözümlerin doğaçlama olmasıdır. Yeni çözümler mevcut çözümlerden daha iyidir ve daha kötü olanların atılması sağlanır. Doğanın bazı basit kurallarına uyulduğunda, kısıtlı doğrusal olmayan problemler bile verimli bir şekilde çözülebilir. Metasezgisel algoritmalar bellek (çoğu küresel optimum arayışında geçmiş başarı geçmişini kullanır), kolektif zeka, bilgi paylaşımı, kendi kendini organize etme ve sürülerin yiyecek arama yetenekleri ile karakterize edilir. Arama sırasında çoklu etmenler arasındaki etkileşimler ve geribildirim ile sürü kurallarına uyulması, amaç işlevinin manzarasına göre kendi kendini ayarlamayı sağlamaktadır. Metasezgisel algoritmalar, basitlikleri ve esneklikleri ve NP-zor problemleri sonlu zamanda çözme yetenekleri nedeniyle çok popüler hale gelmiştir. Kesikli ve sürekli problemleri çözebilmekte ve türevlerin hesaplanmasını gerektirmemektedirler. Sırasıyla tek ve çoklu optimum olan tek modlu ve çok modlu problemleri kolayca çözebilmektedirler. Önerilen metasezgisel algoritmaların neredeyse tamamı doğaya dayalı yöntemlerdir. Biyolojik evrimi, hayvan sürülerinin (veya sürülerinin) davranışlarını, kuşları, böcekleri, fiziksel ve kimyasal süreçleri ve doğada meydana gelen diğer mekanizmaları içerir. Algoritmalar sıfırdan geliştirilmiş veya mevcut bir algoritma üzerine oluşturulmuş ya da iki veya daha fazla algoritma hibritlenmiştir. Algoritmalarındaki önemli konsept, optimum çözümü çok hızlı bulabilmeleri ve çoğunlukla yerel optimuma sıkışıp kalmamalarıdır. Algoritma tarafından optimum çözüm arayışında her zaman bir rastgelelik vardır. Bu algoritmaların çoğu popülasyon tabanlıdır ve aramayı paralel olarak yapmakta ve böylece arama süresini

kısaltılmaktadırlar. Bu algoritmalarındaki stokastisite, yerel optimumda sıkışıp kalmadan küresel optimuma götüren ana faktördür. Güçlü ve arama sürecinde iyi olan veya iyi çözümler bulan bazı üyeler bir sonraki yineleme veya nesil için hayatta kalırken, zayıf ve düşük performans veren üyeler bir sonraki yinelemede aramadan çıkarılmaktadırlar. Bu, tipik olarak Darwin'in en güçlünün hayatta kalma teorisi ile uyum içinde olmaktadır. Söz konusu durum, doğadan ilham alan veya doğadan esinlenen tüm meta-sezgisel algoritmaların temel noktasıdır. Çalışmamızda kullanılan Bozkurt optimizasyonu (GWO), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ise metasezgisel ve sürü zekası algoritmaları sınıflarına dahil olan yöntemlerdir. Aşağıda bu yöntemler hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

2.7. Bozkurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization-GWO)

En son ve saygın optimizasyon tekniklerinden biri de bozkurt optimizasyonudur (GWO). Bu algoritma, avcılıktaki gri kurtların sosyal hiyerarşisini simüle etmiştir. Bu algoritma Mirjalili vd. tarafından 2014'te geliştirilmiş [161], 166] ve o zamandan beri hem bilimde hem de endüstride yaygın olarak kullanılmıştır. Bu bölüm, bu algoritmanın ön ve temel tanımlarını sunmakta ve performansını analiz etmektedir. Mirjalili tarafından geliştirilen gri kurt optimizasyonu, gri kurt sürülerinin avlanma stratejileri ve hiyerarşisinden esinlenmiştir. Bu üst düzey avcılarının grup büyüklüğü ortalama olarak 5 ila 12 arasında değişebilir. Gri kurtlar, gruplarındaki rollerine ve avlanma stratejilerine göre dört kategoriye ayrılır. Grubun liderlerine alfa denmekte ve bunlar erkek veya kadın olabilmektedir. Alfalar baskın olmakta ve grubun diğer tüm üyeleri onların talimatlarını takip etmek zorundadırlar. Nerede uyuyacaklarına, ne zaman uyanacaklarına ve nerede avlanacaklarına vs. fiillere karar verirler. Sürü içinde sadece çiftleşme özgürlüğüne sahiptirler. Beta kurtların grupta ikinci düzey bir rolü vardır. Karar verme sürecinde ve diğer görevlerde alfalara yardımcı olurlar. Betalar kadın veya erkek olabilir. Beta kurdu, mevcut alfa ölürse veya liderlik rolünü sürdürmek için yetersiz kalırsa, yeni alfa pozisyonunu veya liderlik rolünü üstlenme potansiyeline sahiptir. Alfa talimatlarını yakından takip ederler ve bu görevler hakkında geri bildirimde bulunurlar. Bu nedenle, tipik olarak sürüdeki alfaların kıdemli danışmanları olarak kabul edilirler. Delta kurtları, grup içindeki düzen hiyerarşisinde üçüncü düzey bir role sahiptir. Alfa veya beta kurallarına uyarlar, aynı zamanda Omega olarak adlandırılan grubun en alt seviyesini de yönetirler. Son olarak, omegalar, paketteki tüm baskın sınıfların emirlerini izleyerek grubun en düşük seviyesini oluşturmaktadır. Bir grupta yemek

yiyecek son sınıf onlardır. Ancak kavga durumlarını önlemeye ve grubun iç dengesini sağlamaya yardımcı olurlar. Şekil 15’te bir bozkurt sürüsü içindeki hiyerarşi sınıfları gösterilmiştir [162, 167].



Şekil 15. Bozkurt optimizasyonunda hiyerarşi ve sürüdeki hiyerarşik nüfus dağılımı.

Yukarıdaki mekanizmaya göre, belirli bir optimizasyon problemi için aday çözüm popülasyonunu dört sınıfa bölerek uygulanır. Şekil 15’te de görülebileceği gibi, en iyi ilk üç çözüm α , β ve δ olarak kabul edilir. Çözümlerin geri kalanı ω kurtlar grubuna dahil edilmiştir. Bunu uygulamak için, çözümleri değiştirmeden önce her yinelemede hiyerarşinin güncellenmesi gerekir. Bu bölünmeden sonra, çözümlerin konumu aşağıdaki matematiksel modeller kullanılarak güncellenir:

Avın Kuşatılması: Bozkurt sürüsü, avın yerini belirler ve onu kuşatır. Avın konum vektörü bu adımda tanımlanır. Ayrıca arama ajanları, avına saldırmak için en iyi çözümü elde etmek için konumlarını avın konumuna göre ayarlarlar. Avın çevreleme süreci matematiksel olarak aşağıdaki gibi modellenmiştir:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (30)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (31)$$

burada (t) geçerli iterasyondur. Katsayı vektörleri \vec{A} ve \vec{C} ile temsil edilir. \vec{X}_p avın konum vektörünü temsil eder ve \vec{X} bir gri kurdun konum vektörüdür. A ve C vektörleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (32)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (33)$$

\vec{r}_1 ve \vec{r}_2 rastgele vektörlerdir ve \vec{a} 2'den 0'a lineer olarak düşürülebilmektedir. Gri kurt konumunu (X, Y) avın konumuna (X^* , Y^*) göre ayarlayabilir. \vec{A} ve \vec{C} nin ayarlanması, mevcut konumla ilgili olarak en iyi temsilci etrafında farklı pozisyonlar sağlar. Örneğin, $\vec{A} = (1, 0)$ ve $\vec{C} = (1, 1)$ ayarlamak ($X^* - X, Y^*$) durumunu üretir.

Av Arama: Alfa, beta ve delta kurtlarının konumları önemlidir, çünkü diğer kurtlar bu lider kurtlara göre konumlarını belirler. \vec{A} gri bir kurdun ava olan eğilimini gösterir. Bu adımda avı aramak veya saldırmak olarak iki eğilim hareketi vardır. $|A| > 1$ ise, gri kurtlar avdan ayrılır ve hem farklı, hem uygun bir av bulmaya çalışır. C, keşif sürecinde başka bir yararlı faktördür. $|0,2|$ 'de rastgele değerlere sahiptir. C değerinden dolayı av için rastgele ağırlıklar üretilir. ($C > 1$) ise mesafeyi belirlemede avın etkisini vurgular. Tam tersi durumda ($C < 1$) vurgunun azaltılmasını sağlar. C değeri gri kurtlarla av arasındaki engel olarak düşünülebilir. Avın hızla avlanmasını önler ve bozkurt ile av arasındaki mesafeyi uzatır. Bu parametre, avın durumunu rastgele değiştirir ve ayrıca bir kurdun konumuyla da ilgilidir. Bir kurt için avlanma sürecinin rahatlığını tanımlayan ava ağırlık verir.

Avcılık: Genel olarak, alfa avlanma sürecini yönetir ve beta, ara sıra ona katılabilir. Matematiksel simülasyonlara göre alfa, beta ve delta olası av konumu hakkında daha iyi bilgiye sahiptir. Dolayısıyla, GWO'nun bu en iyi çözümleri kaydedilir ve diğer arama araçlarını bu en iyi arama araçlarına göre konumlarını güncellemeye zorlar. Bu amaçla aşağıda açıklandığı gibi bazı denklemler kullanılır:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad (34)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (35)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (36)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - (\vec{D}_\alpha) \quad (37)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - (\vec{D}_\beta) \quad (38)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\gamma - (\vec{D}_\delta) \quad (39)$$

$$\vec{X}_{(t+1)} = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (40)$$

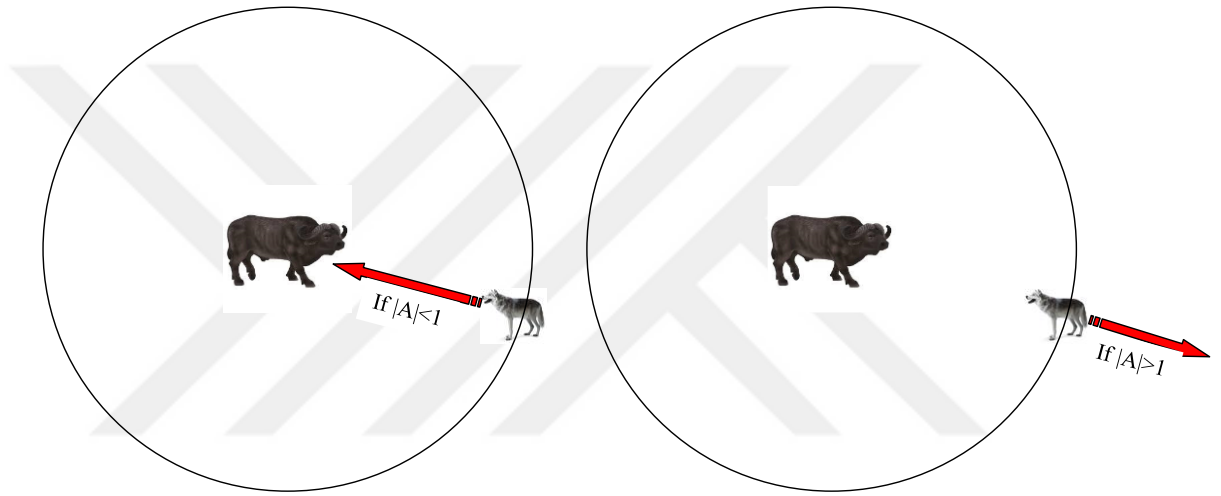
Avın son konumu alfa, beta ve deltanın konularına göre belirlenir. Bu üç kurt, avın yerini tahmin etmekte ve sürünün diğer kurtları da buna göre konularını güncellemektedir.

Saldıran Av: Av durduğunda gri kurtlar ona saldırabilir. Matematiksel modele göre a 'nın değeri lineer olarak azaltılır. Yani A , $[-\alpha, \alpha]$ aralığında rastgele bir değere sahiptir. A , $[-\alpha, \alpha]$ ve $(|A| < 1)$ 'de rastgele değerlere sahipse, yöntem kurtları avına saldırmaya zorlar. Aşağıda (Şekil 16) yukarıda belirtilen sürünün konulanma süreçleri aşama aşama gösterilmiştir [163], 168].



Şekil 16. Bir kurt sürüsünün tipik avlanma davranışı [173]: Avı kovalamak, takip etmek ve yaklaşmak (A), avı hareketsiz hale gelene kadar takip etmek, taciz etmek ve kuşatmak (B-D), ava saldırmak (E).

Yine aşağıda (Şekil 17, Şekil 18) ava saldırı ve araştırma durumları ile bozkurt sürüsünün ve avın pozisyon güncellemesi sırasıyla gösterilmiştir. Bu bölümde, GWO algoritmasının performansı çeşitli test fonksiyonları üzerinde test edilmektedir. Optimizasyon alanında, test fonksiyonları genellikle iki ana nedenden dolayı optimizasyon algoritmalarının performansını analiz etmek için kullanılır. İlk olarak, global optimum, bir test fonksiyonunda bilinir, bu nedenle, bir algoritma ile elde edilen bir çözüm ile test fonksiyonlarının global optimum arasındaki uyumsuzluğu nicel olarak hesaplayabiliriz. Bu gerçek dünya sorunları için geçerli değildir çünkü bu tür sorunların küresel optimumları normalde bilinmemektedir.



Şekil 17. Ava saldırı ve av araştırma durumları

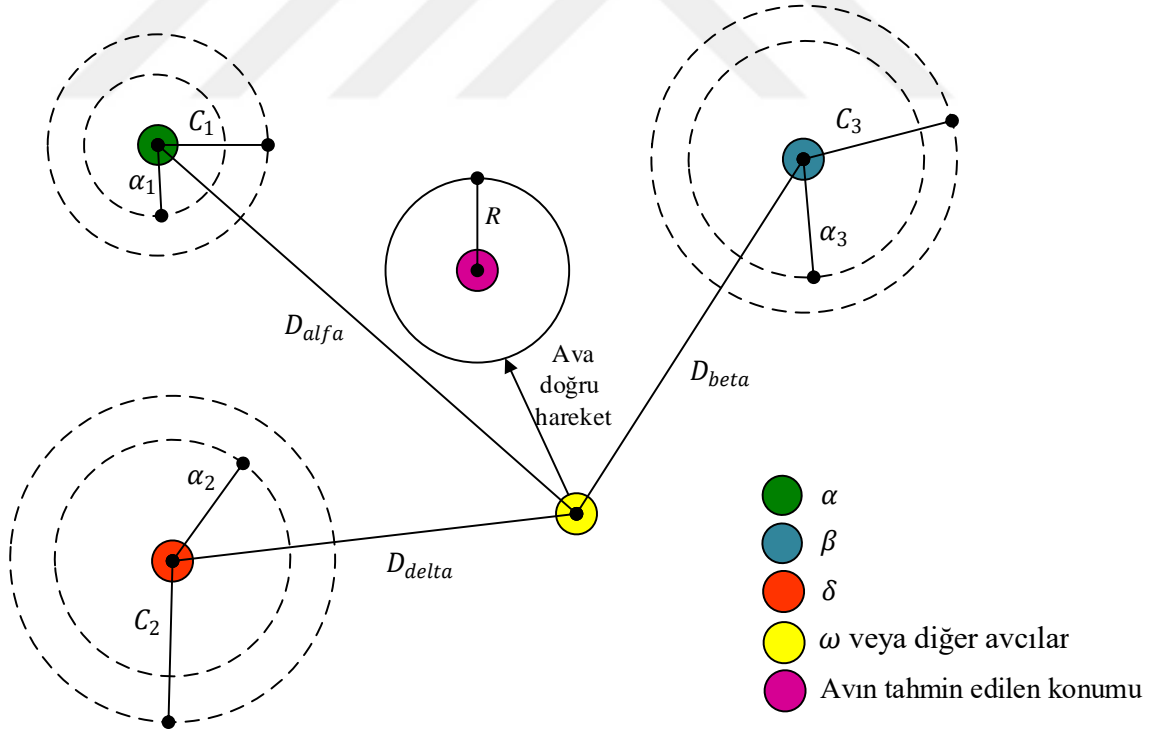
İkinci olarak, test fonksiyonları, arama manzaraları için çoğunlukla bilinen şekillere sahiptir ve zorluklarını artırmak için kontrol parametreleri vardır. Bu nedenle, bir algoritmanın performansı, farklı perspektiflerden ve çeşitli zorluk seviyelerinde kıyaslanabilir.

Burada tek modlu ve çok modlu dâhil olmak üzere bir dizi test işlevi seçilir. Bu kıyaslama fonksiyonlarındaki ana kontrol parametreleri, değişkenlerin sayısıdır. GWO algoritması 30 boyutlu durumları çözebilmektedir. Şekil 19'da GWO'nun akış şeması gösterilmektedir.

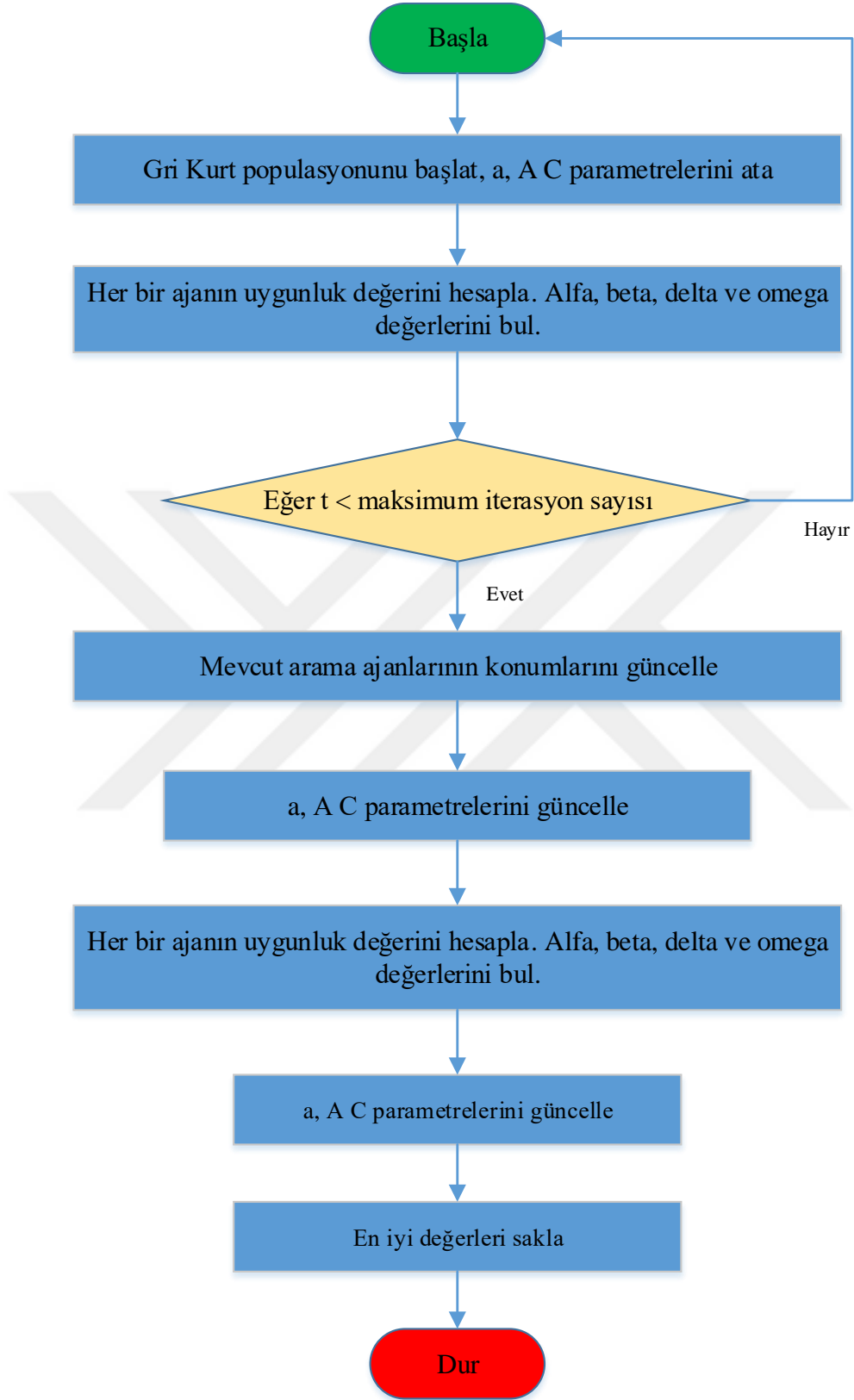
GWO'nun teorik olarak optimizasyonu nasıl çözebildiğini görmek için sorunlar, bazı noktalar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Önerilen sosyal hiyerarşi, GWO'nun yineleme boyunca şimdiye kadar elde edilen en iyi çözümleri kaydetmesine yardımcı olur.

- Önerilen kuşatma mekanizması, hiper-küre olarak daha yüksek boyutlara genişletilebilen çözümler etrafında daire şeklinde bir komşuluk tanımlar.
- Rastgele parametreler A ve C , farklı rastgele yarıçaplara sahip hiper-kürelere sahip olmak için aday çözümlere yardımcı olur.
- Önerilen avlanma yöntemi, aday çözümlerin avın olası konumunu belirlemesine izin verir.
- Keşif ve sömürü, a ve A 'nın uyarlanabilir değerleri tarafından garanti edilir.
- a ve A parametrelerinin uyarlanabilir değerleri, GWO'nun keşif ve kullanım arasında sorunsuz geçiş yapmasına izin verir.
- Azalan A ile yinelemelerin yarısı keşif için ayrılmıştır. ($|A|>1$) ve diğer yarısı sömürüye adanmıştır ($|A|<1$).
- GWO'nun ayarlanması gereken yalnızca iki ana parametresi vardır (α ve C).
- Mutasyon ve diğer evrimsel süreçleri entegre etme olasılıkları vardır. Operatörler, gri kurtların tüm yaşam döngüsünü taklit etmektedir.



Şekil 18. GWO optimizasyonunda konum güncellemesi



Şekil 19. Bozkurt Optimizasyonu akış şeması

2.8. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization- PSO)

İlk olarak hücrenel robotik sistemlerinde bağlamında tanıtılan bir terminoloji olarak, sürü zekâsı (SI) başlangıçta doğal veya yapay olan merkezi olmayan ve kendi kendini organize eden sistemlerin toplu davranışını tanımlamak için kullanılmıştır [164]. Şimdilerde ise, genellikle bir metasezgisel sınıfını ifade etmektedir. Tipik bir SI sistemi, birbirleriyle ve yaşadıkları çevreyle yerel olarak etkileşime giren basit ajanlardan oluşan bir popülasyondan oluşmaktadır [165]. Bireysel ajan hiçbir zekâ belirtisi göstermez ve nasıl davranması gerektiğini dikte eden merkezi kontrol yapısı olmadan çok basit kuralları takip eder. Bu tür ajanlar arasındaki etkileşimler yerel düzeydedir ve hatta belirli bir derecede rastgelelik göstermektedir. Bununla birlikte, bu tür yerel etkileşimler nedeniyle, bireysel ajanlar tarafından bilinmeyen tutarlı işlevsel küresel modeller veya akıllı küresel davranış ortaya biçimi ortaya çıkmaktadır. Karınca kolonileri, kuş sürüsü, arı sürüsü, hayvan gütmeye, bakteri üremesi, balık sürüleri ve insan gibi SI sistemlerinin doğal örnekleri vardır.

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması, söz konusu SI algoritmaları kategorisine girmektedir. İlk olarak 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen popülasyon tabanlı bir optimizasyon tekniğidir [166]. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışı (yani toplu davranış) tarafından motive edilmiştir ve genetik algoritmalar (GA) gibi evrimsel hesaplama teknikleriyle birçok benzer yönü bulunmaktadır. Bir PSO sisteminin optimizasyon süreci, rastgele çözümlerin bir başlangıç popülasyonu ile başlamakta ve her nesildeki bireylerin çeşitli özelliklerini güncelleyerek optimumu aramaktadır. Ancak, genetik algoritmdan (GA) farklı olarak PSO, çaprazlama ve mutasyon gibi evrim operatörlerine sahip değildir. Potansiyel çözümler, kendi deneyimlerini ve mevcut en iyi parçacıkları takip ederek çözüm uzayında uçan parçacıklar olarak bilinir. Ayrıca PSO algoritmasının performans açısından GA ile karşılaştırılabilir olduğu ve GA'ya alternatif bir yöntem olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir [167].

PSO'nun ilk öncü kullanımları, kuş sürülerini görselleştirmek için sosyal davranış simülasyonlarında gerçekleştirilmiştir. En yakın komşu hız eşleşmesi ve mesafeye göre hızlanma üretmek için kullanılan ana prensipler olmuşlardır. Eberhart ve Kennedy tarafından yürütülen simülasyon deneylerinde, yiyecek aramalarında basit ajanların sürü davranışı gözlemlenmiştir. Bu simülasyon modellerinin optimizasyon gerçekleştirme potansiyelini fark ettikten sonra, grup kendi modellerini geliştirmiş ve 1995 yılında PSO'ya dair ilk çalışmaları gerçekleştirmiştir.

Bunu matematiksel bir çerçeveye koyarsak, $A \subset \mathbb{R}^n$ arama uzayı ve $f:A \rightarrow Y \subseteq \mathbb{R}$ amaç fonksiyonu olmaktadır. Tanımları olabildiğince basit tutmak için, A'nın aynı zamanda eldeki problemin uygun uzayı olduğu varsayılmaktadır, yani aday çözümler üzerinde başka açık kısıtlamalar yoktur [149]. Ayrıca, amaç fonksiyonunun ve arama uzayının biçimiyle ilgili ek varsayımlara gerek olmadığına dikkat edilir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi, PSO, popülasyon tabanlı bir algoritmadır, yani, arama alanını eşzamanlı olarak araştırmak için bir potansiyel çözümler popülasyonundan yararlanılmaktadır. Söz konusu popülasyona sürü ve bireylerine parçacıklar denir. Sürü bir küme olarak tanımlanır:

$$S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (41)$$

N parçacık (aday çözümler), şu şekilde tanımlanır:

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}^T \in A, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (42)$$

İndeksler parçacıklara keyfi olarak atanır, N ise algoritmanın kullanıcı tanımlı bir parametresidir. Amaç fonksiyonunun $f(x)$, A'daki tüm noktalar için mevcut olduğu varsayılır. Böylece, her parçacığın kendine has bir fonksiyon ($f_i = f(x_i) \in Y$) değeri vardır.

Parçacıkların arama uzayı (A) içinde iteratif olarak hareket ettiği varsayılır. Bu, hız adı verilen ve şu şekilde gösterilen uygun bir konum kayması kullanarak konumlarını ayarlayarak mümkündür:

$$v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}^T, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (43)$$

Hız ayrıca, parçacıkları potansiyel olarak A'nın herhangi bir bölgesini ziyaret edebilecek hale getirmek için yinelemeli olarak uyarlanır. Eğer t yineleme sayacını gösteriyorsa, o zaman i indeksli parçacığın mevcut konumu ve hızı bundan sonra sırasıyla $x_i(t)$ ve $y_i(t)$ olarak gösterilecektir. Hız, algoritmanın önceki adımlarında elde edilen bilgilere göre güncellenir. Bu, her parçacığın araması sırasında şimdiye kadar ziyaret ettiği en iyi konumu saklayabileceği bir bellek açısından uygulanır. Bu amaçla, parçacıkların mevcut konumlarını içeren S sürüsünün yanı sıra, PSO ayrıca bir bellek seti de tutar:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (44)$$

Her parçacık tarafından ziyaret edilen en iyi pozisyonlar şu şekildedir:

$$p_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}\}^T \in A, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (45)$$

Bu konumlar şu şekilde gösterilir:

$$p_i(t) = \arg \min f_i(t), \quad (46)$$

Algoritma, karmaşık bir uygulaması olmamasına rağmen hızlı yakınsama konusunda oldukça etkilidir. Algoritma, parçacıklar olarak tanımlanan bir dizi çözüm ortaya çıkarır. Bir parçacığı tanımlamak için bazı 3 boyutlu vektörler vardır [168]. Bunlar, mevcut konum (x_i^{k+1}), önceki konum (x_i^k), mevcut hız (V_i^{k+1}), ve i indeksli parçacığın en iyi uygunluğu olan ($pbest_i$) değerleridir. Ayrıca, mevcut küresel en iyi, g_{best} olarak tanımlanmaktadır. Yani amaç fonksiyonu parçacıkların uygunluğunu belirlemekte ve bir arama uzayında daha doğru lokalizasyon sağlamaktadır. Güncellenmiş parçacık konumu şu şekilde ifade edilmektedir,

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1r_1(pbest_i - x_i^k) + c_2r_2(g_{best} - x_i^k) \quad (47)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (48)$$

r_1 ve r_2 , 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rasgele sayılar olmakta, c_1 ve c_2 'de ivme sabitleri olmaktadır. w , denklemlerle 49'la maksimum ağırlıktan (w_{max}) türetilen atalet ağırlığı, minimum ağırlık (w_{min}) ve izin verilen maksimum yineleme sayısı ise (t_{max}) olmaktadır.

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{t_{max}} t \quad (49)$$

Anlaşılabileceği gibi, PSO'daki her parçacığın ağıdaki diğer parçacıklarla bağlantıya ihtiyacı vardır, buna topoloji denir. Küresel en iyi ve yerel en iyi bu topolojilerin iki türüdür. Küresel en iyi'nin aksine, yerel en iyi, komşu parçacıkların bilgilerine erişim sağlar. Böylece her parçacığın farklı özelliklere sahip bir sürüsü bulunmaktadır. l_{best} ile sembolize edilen yerel en iyi için benzer bir güncelleme durumu vardır:

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1r_1(p_{best} - x_i^k) + c_2r_2(l_{best} - x_i^k) \quad (50)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (51)$$

2.9. Analitik Yöntem

Çalışmamızda kullanılan ve tatbik ettiğimiz optimizasyon yöntemleriyle kıyaslanan bir analitik yöntem mevcuttur. Söz konusu yönteme dair çalışmada, en az çapa sayısını kullanarak en iyi lokalizasyon doğruluğunu sağlayan optimal çapa yerleştirme stratejisini analitik olarak belirlemeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada daire tabanlı lokalizasyon yaklaşımı [111] ele alınmış ve analitik olarak iyi bir çapa yerleştirme modeli türetilmiştir. Çalışmada bizim simülasyonlarımızda da kapsamlı olarak yer bulmuş ve incelenmiştir. Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibidir:

- Bir dizi m komşu çapa düğüm için en iyi doğruluğu, yani en düşük ortalama yerleştirme alanını elde etmek için bir koşul elde edilmektedir.
- Ağdaki tüm düğümlerin lokalizasyonunu sağlayan uygun sayıda çapa elde edilir.
- Her düğüme iki çapa ile ulaşılabileceği zaman, lokalizasyon anlamında doğruluğu elde etmek için az sayıda çapa ve faydalı bir yerleştirme modeli oluşmuştur.

Gerekli çapa sayısı açısından maliyeti en aza indirmeye yönelik ilgiyle, çapa yerleştirme problemi, genellikle kablosuz sensör ağlarında en az R yarıçaplı diskleri kullanarak tam alan kapsamını sağlama problemi ile çözümlenmeye çalışılmıştır. Kapsama alanı veya sorunu ise bu anlamda cevabı bulunması gereken durumlardan biri olmuştur [169]. Bir düğüm kapsamayı sağlayan optimal analitik yerleştirme modelinin, çapaları üçgen bir kafesin köşelerine yerleştirmek olduğu iyi bilinmektedir. Üçgen kafesin kenarı $\sqrt{3R}$ 'ye eşittir, burada R düğüme ait iletişim uzaklığı veya kapsama aralığını da temsil eder, çünkü çalışmada her düğümün bir dizi çapa düğümün kapsama alanına girmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Alan tabanlı lokalizasyonda, çapa düğümlerinin birbirine komşu olması gerekli değildir, o zaman üçgen kafesin köşeleri algoritma performansını etkilemeden R'den daha büyük olabilmektedir. Bu nedenle, tüm düğümlerin en az bir komşu çapaya sahip olmasını sağlamak için uygun çapa sayısınınca, çapa düğümleri $\sqrt{3R}$ 'ye eşit üçgen bir kenar

kafesinin köşelerine yerleştirmek gerekmektedir. $L \times W$ boyutunda bir dikdörtgen yerleşim alanı olarak düşünülürse ve üçgen kafes uzun kenara L paralel yönlendirilirse, o zaman tüm yerleştirme alanını kaplayan en az sayıda çapa düğüm sayısı m olabilir. Bu sayı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$m = \left\lceil \frac{2L}{\sqrt{3}R} \times \frac{2W}{3R} \right\rceil = \left\lceil \frac{2LW}{3\sqrt{3}R^2} \right\rceil \quad (52)$$

Ayrıca, kesişimler göz ardı edildiğinde, üçgen kafes deseni yayılma alanını R yarıçaplı dairesel geometrik formun eşit alt bölgelerine bölmekte; böyle bir model aynı zamanda tek çapa düğüm kapağı ile dairesel tabanlı lokalizasyon için en iyi doğruluğu sağlamaktadır.

Benzer şekilde, düğümlerin konum doğruluğunu artırmak için daha fazla çapa yerleştirilebildiğinde, çapalar ikinci bir üçgen kafesin köşelerine yerleştirilebilir. k tane üçgen kafes katmanı kullanarak, optimal sayıda çapa ile k -kapsama elde edildiği kanıtlanmıştır, bu da her düğümün k komşu çapaya sahip olacağı anlamına gelir. Ancak, lokalizasyon için bu, en kesin doğruluğu elde etmek için yeterli değildir.

2.10. Optimizasyon Yöntemleri İçin Uygunluk Fonksiyonunun Geliştirilmesi

Uygunluk fonksiyonu, belirli bir tasarım çözümünün belirlenen hedeflere ulaşmaya ne kadar yakın olduğunu tek bir değer olarak özetlemek için kullanılan belirli bir amaç fonksiyonu türüdür. Problemi yeniden formüle ederken, bir çözümün kalitesini bir kapsam metriği açısından değerlendirmek için bir uygunluk fonksiyonu tanımlanır [170], [177]. Uygunluk fonksiyonu, lokalizasyonda daha doğru değerler elde etmek için daha verimli optimizasyon yapmayı amaçlamaktadır. GWO için, sürüdeki her kurt bir uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilir. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonu lokalizasyon üzerine kurulmuştur. Bu uygunluk fonksiyonunun, başlangıçta Şekil 19 ile açıklanabilecek beş ögesi vardır. Tüm bu parametreler, tüm KAA için sanal ve geçici bir koordinat sistemi oluşturularak tanımlanır. Bunlardan bazıları, metasezgisel yöntemlerle çapa düğüm konumlarının belirlenmesinin olmaması nedeniyle literatürde ilk kez kullanılmaktadır. i indeksli AC ($d_{av}(i)$) için komşu düğümlerin ortalama mesafesinin maksimum kapsama alanına (r) oranı, fonksiyonun ilk belirleyici değeridir. 1'e yakın olması lokalizasyon için

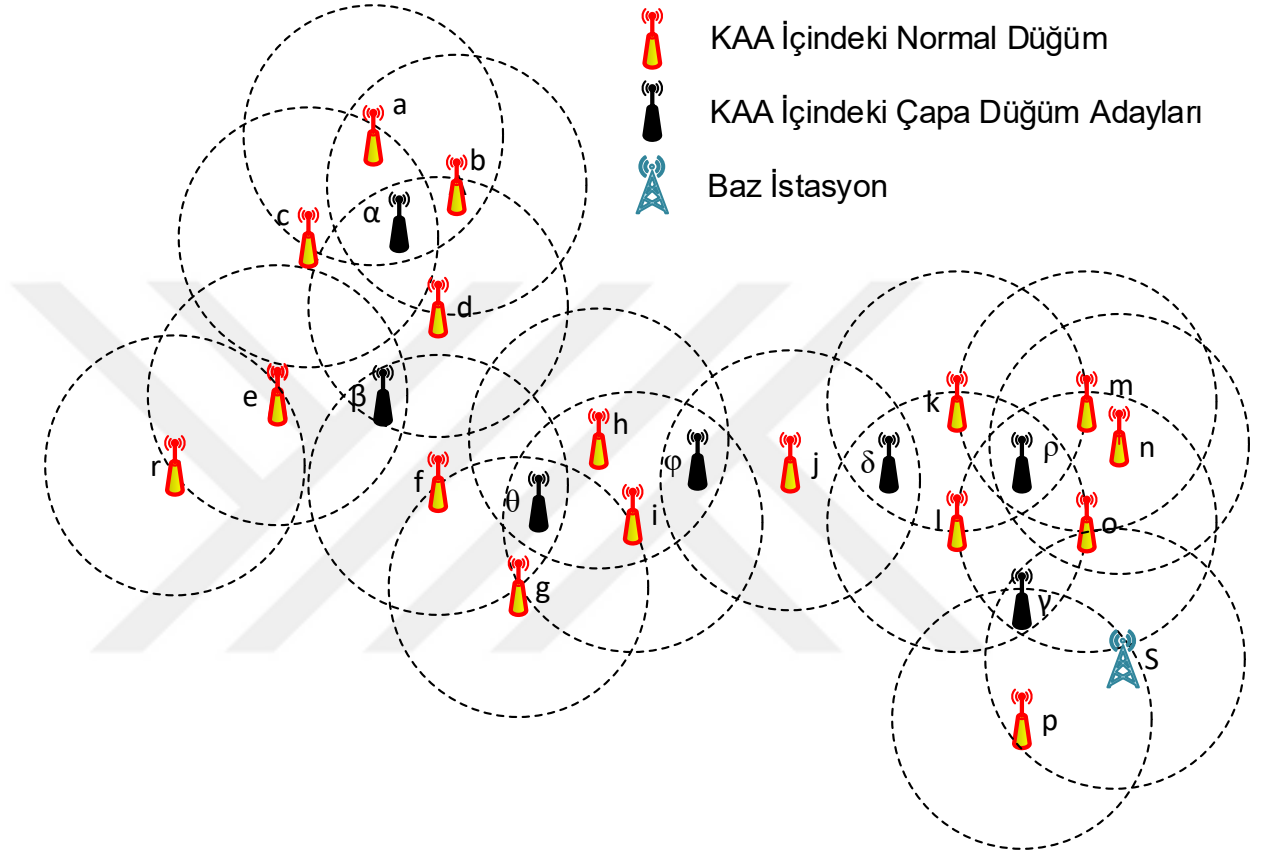
verimli bir trilaterasyon veya multilaterasyon sağlanmasına katkı sağlar. Enerji, optimizasyon sürecinde bir başka faktördür. V , pilin ilk gerilim seviyesi, Vav_i ise ACi'nin komşu düğümleri için tüketilen ortalama gerilim seviyesidir. Bir düğümün daha az kullanımı, bir düğümün ve ayrıca bir ağın uzun ömürlü olmasının nedenlerinden biridir. Komşu düğümlerin hareketliliği veya hızı, uygunluk fonksiyonunun başka bir değişkenidir. Doğal olarak komşu düğümlerin hız artışı lokalizasyon hatasını artırabilir.

Böylece, bir AC için bir düğümün maksimum hızı ile komşuların ortalama hızı (Mav_i) arasındaki fark büyürse, uygunluk fonksiyonu ve bunun sonucunda çapa düğümlerinin belirlenmesi olumlu yönde etkilenir. ACi için komşu düğümlerin sayısı Deg_i 'dir ve kablosuz ağlardaki tam sayıya olan yüzdesi, seçilen çapa adaylarıyla daha verimli bir yinelemeli (iterative) lokalizasyon için yararlı bir uygunluk işlevi oluşturma sürecini gerçekleştirmenin bir işareti olan Deg_{all} tarafından sembolize edilir. Yukarıda bahsedildiği gibi, uygunluk fonksiyonu için iki yeni parametre vardır. Bu değerler daha verimli lokalizasyon sağlamak için oluşturulmuştur. Bunlardan biri, ACi'yi bir çapa olarak içeren trilaterasyon sayısıdır. Bu sayının ağlardaki tüm trilaterasyon sayılarına oranı, bahsedilen ACi'nin etkinliğini gösterir. Yukarıda belirtilen sözde koddaki yöntem ile düğümlerin IA'larında bulunan AC'leri belirledikten sonra ve Denk. (51), alıcı düğüm, düğümlerin iletişim uzaklıklarındaki AC'lerin listelerini kaydeder. Bu tür bir liste Şekil 20'deki KAA için aşağıdaki gibi oluşturulabilir. $a=\{\alpha\}$, $b=\{\alpha\}$, $c=\{\alpha\}$, $d=\{\alpha,\beta\}$, $e=\{\beta\}$, $f=\{\beta,\theta\}$, $g=\{\theta\}$, $h=\{\theta,\varphi\}$, $i=\{\theta,\varphi\}$, $j=\{\delta,\varphi\}$, $k=\{\delta,\rho\}$, $l=\{\delta,\rho,\gamma\}$, $m=\{\rho\}$, $n=\{\rho\}$, $o=\{\rho,\gamma\}$ ve $p=\{\gamma\}$ düğümlerdir ve AC'ler bunların kapsama alanındadır. Bu listeye göre, δ , ρ ve γ 'ye AC olarak bağlı olduğundan, yöntemin ilk yinelemesinde yalnızca bir düğümün lokalizasyonu gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, ilk yineleme sırasında yapılabilecek yalnızca bir trilaterasyon vardır. ACi (Tri_i) tarafından gerçekleştirilen trilaterasyonların KAA'daki ($Tri(all)$) tüm trilaterasyonlara oranı, KAA'nın lokalizasyonu uygunluğunun bir başka göstergesidir.

Laterasyon bir sonucu olarak, birkaç düğümün konumu belirlenebilir. Son olarak, ACi ($NNodeTri_i$), tarafından yapılan trilaterasyonlar yoluyla lokalizasyonu yapılmış düğüm sayısı ve bir ağdaki tüm düğüm sayısına oranı, yinelemeli lokalizasyonunun ne kadar yararlı olduğunu belirlemek için mükemmel bir faktördür. Daha iyi yinelemeli lokalizasyon elde etmekten daha fazla parametre türetmek gerekir. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, ve α_5 [0,1] aralığındaki sayılardır. Uygunluk fonksiyonu şöyle açıklanmaktadır:

$$F(x) = \alpha_1 \frac{r-dav_i}{r} + \alpha_2 \frac{V-Vav_i}{V} + \alpha_3 \frac{Mmax-Mav_i}{Mmax} + \alpha_4 \frac{Tri_i}{Tri(all)} + \alpha_5 \frac{NNodeTri_i}{NNodeAll} \quad (53)$$

Bahsedilen optimizasyon yöntemleri ile AC'lerin belirlenmesinden sonra, tüm kablosuz sensör ağı için işlemi tamamlamanın son adımı yinelemeli lokalizasyondur.



Şekil 20. Dğümleri, çapa düğüm adayları ve baz istasyonu (S) ile bir KAA örneği.

2.11. Lokalizasyon

RSSI, uzaklık tabanlı protokoller için bir mesafe ölçümü olarak kullanılır. Alıcı tarafından alınan sinyal gücünün ölçülen bir değeridir. Ayrıca tamsayı olarak ölçülür ve dBm olarak güç birimine dönüştürülebilir. Genel olarak, bu özel değer, ZigBee düğümlerinde olduğu gibi KAA'nin fiziksel katmanı tarafından elde edilir. Bu mesafe bilgisi, düğüm konumlarını belirlemek için kullanılır. Kablosuz cihazları WLAN'da bulmak ve konum bilgisi sağlamak örnek olarak gösterilebilir. Bu teknik, kablosuz bir iletişim sisteminde küçük bir donanımla uygulanabilir. Basitçe bir alıcı alınan sinyalin gücünü alır ve bu verileri

konum tahmini için RSSI çıkışı olarak kullanır. RSSI değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$RSSI = A - 10n \log(d) \quad (54)$$

A , verici düğümün sinyal gücünü gösterir. Deneylerimizde bu değer 5 dB olarak kullanılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi n , ortamın yol kaybıdır. d , şu şekilde hesaplanan verici ve alıcı arasındaki ölçülen mesafedir:

$$d = 10^{(A-RSSI)/10n} \quad (55)$$

RSSI ve uzaklık tipik olarak doğrusal olmayan bir ters ilişkiye sahiptir, öyle ki, uzaklık arttıkça RSSI değeri azalır. Çalışmamızda lokalizasyon işlemi için en küçük kareler yöntemi uygulanmıştır. Bu tür matematiksel optimizasyon tekniğinde, koordinatları $(X_1, Y_1) \dots (X_n, Y_n)$ olan n çapa düğümü ve yerini belirlemek için bir bilinmeyen veya hedef düğüm vardır. Her şeyden önce, bilinmeyen düğüm ile çapa düğümleri arasındaki mesafelere d_i denir. Daha sonra her çapa düğümü için merkez olarak bir daire oluşturulur ve yarıçapı d olur. Bu daireler, bilinmeyen düğümün koordinatlarına sahip bir noktada kesişir. Bu yöntemde en az üç çapa düğümüne ihtiyaç vardır. $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3) \dots (X_n, Y_n)$ bilinmeyen düğüme olan uzaklıkları $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$ olan çapa düğümlerinin koordinatlarıdır. Bu mesafeler şu şekilde açıklanmıştır:

$$\begin{aligned} (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 &= d_1^2 \\ (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 &= d_2^2 \\ &\vdots \\ (X - X_n)^2 + (Y - Y_n)^2 &= d_n^2 \end{aligned} \quad (56)$$

$Ax = B$ 'nin lineer denklemlere dönüştürülmesi için:

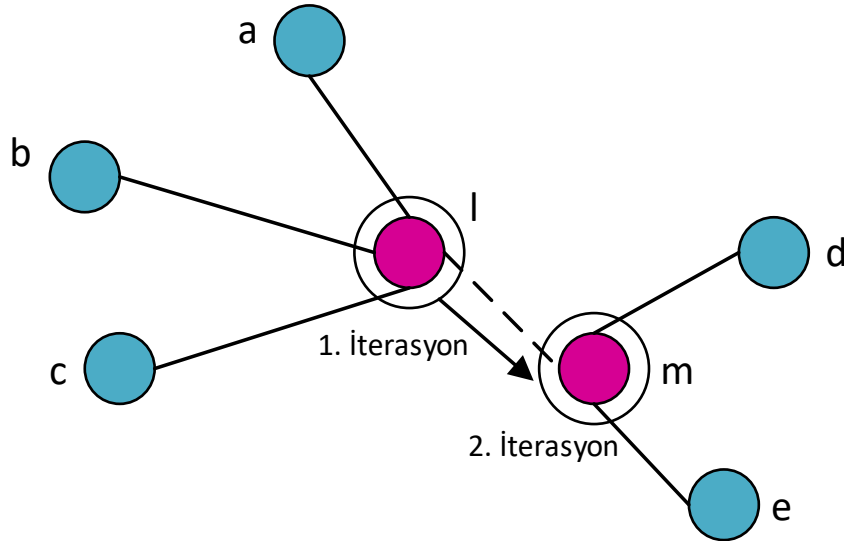
$$A = \begin{bmatrix} 2(X_1 - X_n)2(Y_1 - Y_n) \\ \vdots \\ 2(X_{n-1} - X_n)2(Y_{n-1} - Y_n) \end{bmatrix} \quad (57)$$

$$B = \begin{bmatrix} X_1^2 - X_n^2 + Y_1^2 - Y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ X_{n-1}^2 - X_n^2 + Y_{n-1}^2 - Y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (58)$$

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (59)$$

2.12. İteratif (Yinelemeli) Lokalizasyon

Bazı durumlarda, çoklu komşu düğümlerin mesafe ölçülerini birleştirmek için mümkün olan en yüksek kesinlikli tahmin yöntemine ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, KAA genellikle sınırlı sayıda çapa düğüme sahiptir. Ayrıca, menzil hatası nedeniyle, doğru konum tahmini için 3'ten fazla düğüm noktası gereklidir. Bu nedenle, bilinmeyen düğümlerin konumu, komşu düğümlerin konumu tahmin edilerek tahmin edilebilir. Böylece, çok sekmeli düğümlerin, daha fazla çapa düğümü yardımıyla lokalizasyonu gerçekleştirilebilir. Bu prosedür çok taraflı yinelemeli lokalizasyon olarak adlandırılır [171]. Söz konusu çok taraflı yinelemenin nasıl çalıştığına dair bir örnek Şekil 21'deki gibidir.



Şekil 21. Yinelemeli lokalizasyon örneği.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, önerilen yöntemin performansını analiz etmekte ve bu performansa dair sayısal bulgular irdelenmekte ve literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırılması yapılmaktadır. İlk önce iki boyutlu simüle edilmiş bir sistem modelinin tanımlanması yapılmaktadır. Ardından performans sonuçlarını sunmakta ve karşılaştırmaktayız. Ayrıca, ayrıntılı bir değerlendirmenin ardından algoritmaların sonuçlarını irdelenmektedir.

Bu bölümde önerilen optimal çapa düğüm yerleşimi ve performansına yönelik analizler ve değerlendirme sonuçları dört ana senaryo bağlamında sunulmaktadır:

- (1) Çok büyük boyutlu bir KAA yapısı için optimal çapa düğüm yerleşim yöntemi sırasıyla PSO, GWO optimizasyon yöntemleri denenmekte ve büyüklük anlamında bu yöntemler test edilmektedir.
- (2) Büyük boyutlu bir KAA için optimal çapa düğüm yerleşim yöntemine sırasıyla kapsama alanı ve uzaklığın, sabit boyuttaki bir KAA yapısının değişken düğüm sayısının ve optimizasyon algoritmalarının icra zamanlarının etkileri gözlemlenmiş ve irdelenmiştir. Bu anlamda elde edilen çapa düğüm sayıları, lokalizasyon hataları ve bu ikisinin ödünleşim (trade-off) eğrileri kıyaslanmaktadır.
- (3) Üçüncü senaryoda ise büyük boyutlu KAA lokalizasyonu anlamında makine öğrenmesi tabanlı lokalizasyonun uygulandığı bir çalışma ile mukayese yapılmakta ve lokalizasyon sonuçları irdelenmektedir. Bu durum irdelenirken ise çapa düğüm sayısı mukayese edilen çalışma ile eşit tutulmaya çalışılmıştır. Ancak söz konusu çalışmada çapa yerleşimi optimizasyon olmadan sağlanmaktadır.
- (4) Son senaryoda ise aynı çapa düğüm tespitinde tezde uygulamış olduğumuz üç yöntem baz alınmış ancak lokalizasyon sürecinde laterasyon ve DV-Hop lokalizasyon çeşitleri mukayese edilmekte ve sonuçlar irdelenmektedir.

Ortaya konan senaryolar, ilgili başlıklar altında incelenmekte olup öncelikle bir sonraki alt bölümün içeriğini oluşturan sayısal verilerin elde edildiği simülasyon ortamına ve devamında çapa düğüm yerleşim sürecine; lokalizasyona dair hususlara; simülasyonlarda kullanılan ağ topolojisi özelliklerine ve simülasyon parametrelerine yönelik açıklamalar sunulmuştur. Bulgular ve irdeleme bölümü içinde son olarak karşılaştırmaya tabi tutulan çapa düğüm yerleşim algoritmaları için genel bir değerlendirme analizi yapılmıştır.

3.1. Simülasyon Sistem Modeli

Bu bölümde, önerilen yöntemlerin performansını değerlendirilmektedir. İlk olarak, rastgele tanımlanmış bir KAA ile iki boyutlu bir simülasyon ortamı oluşturulmuş, daha sonra simülasyon sonuçları sunulmuştur. Büyük ölçekli KAA yapısının değişken durumlarını test etmek için, çeşitli düğüm sayısı ve düğümlerin iletişim uzaklıkları ile simülasyonlar yapılmıştır. Her denemede, düğümler farklı topolojilerde rastgele konumlandırılır. Doğal olarak, her seferinde çapa adaylarının pozisyonları ve sayıları farklı olmuştur. Her simülasyonda, çalışmada bahsedilen üç yöntem, aynı parametrelere sahip topolojiler ile 1000 kez çalıştırılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Öte yandan önerilen yöntemler, Bhatti'nin [172] büyük ölçekli KAA lokalizasyon konusunda verimli bir değerlendirme sağlayan çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Düğümlerin iletim gücü olarak 5 dB, yol kaybı üssü olarak 2, deneysel analizde kullanılan kanalın belirleyici değerleridir. Aslında, bu yol kaybı üssü, şu anda çalışmamızda kullanılan boş alan yayılım modelinin değeridir.

Tablo 1. Simülasyon parametreleri

Parametreler	Değerler
Alan Büyüklüğü	$0 < x \leq 15000\text{m} \times 15000\text{m}$
Tekrar Sayısı	1000
Düğüm Kapsama Alanı	$10\text{ m} \leq r \leq 80\text{ m}$
Kanal tipi	Free Space (Serbest Uzay)
Yol Kayıp Sabiti	2
KAA'daki Düğüm Sayısı	$80 \leq x \leq 10000$
İşaret Çıkış Gücü	5 dB
Ortalama Düğüm Hızı	0-15 m/s
Veri Paketi Büyüklüğü	512 bit
Gezginlik Modeli	Rasgele Yürüyüş
Düğüm Hareket Yönü	$[0, 2\pi]$ 'den rasgele seçim
Simülasyon Süresi	$6\text{ s} \leq t \leq 1800\text{ s}$

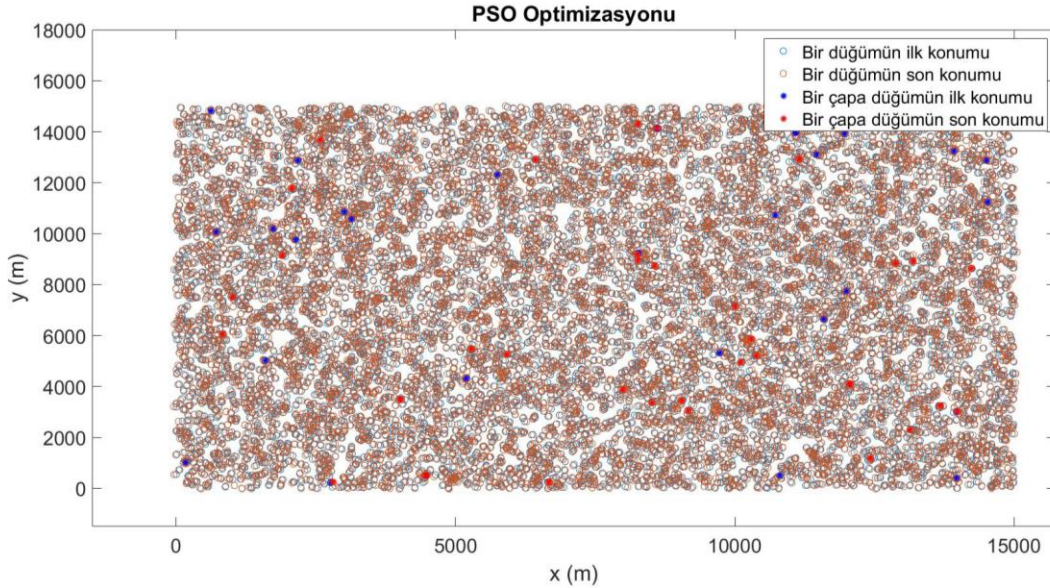
Her bilgi paketinin bilgi iletişiminde kullanılan 512 biti vardır. Düğümlerin hareket hızı 0-15 m/s arasında değişmektedir. Düğümler, belirtilen hız sınırlarına uygun olarak rastgele yürüyüş hareketlilik modeli ile periyodik olarak hareket etmektedir. Aslında bu

model ilk bölümde bahsedilen sürü lokalizasyonu ile ilgili koyun ve sığır hareketleri için uygundur. Diğer parametreler deneylere göre değiştirilir.

Bu tür çapa yerleştirme yöntemleri arasından seçim yapabileceğiniz bazı teknik karşılaştırmalar vardır. Düğümün iletişim uzaklığının etkisi, çapa sayısı ve lokalizasyon hatası yönleriyle gözlemlenmiştir. Optimizasyon yöntemlerinin düğüm numarasının ve işlem süresinin değiştirilmesi de incelenen diğer konulardır. Bu deney MATLAB 2020a ortamında Intel Core I7-9750H işlemci (2.6 GHz) ve 16 gigabayt RAM'e sahip bir sunucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de simülasyonda kullanılmakta olan parametreler gösterilmiştir.

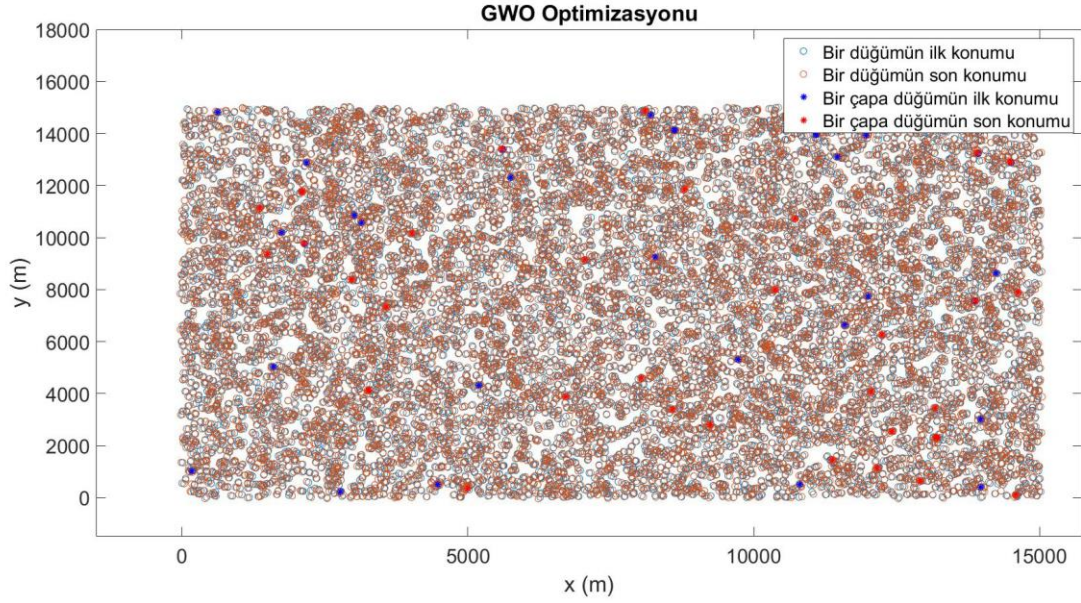
3.2. Çok Büyük Boyutlu KAA Yapıları İçin Optimal Çapa Düğüm Yerleşimleri

Bu bölümde simülasyonlarda olabilecek en yüksek düğüm sayısı kullanılmaya çalışılmıştır. Düğümlerin kapsama alanlarının değişimine göre elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

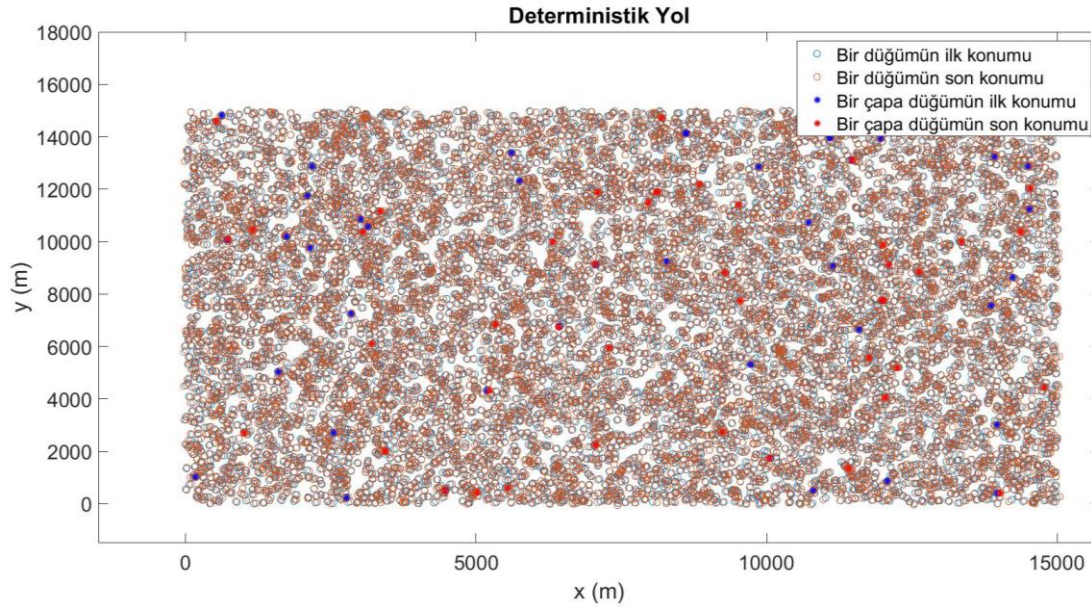


Şekil 22. 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğümüne sahip bir KAA yapısında PSO yöntemiyle çapa düğüm yerleşimi.

Bunun yanısıra ilgili KAA boyutu 15 km x 15 km olarak belirlenmiş, üç optimizasyon yöntemi tarafından elde edilen çapa düğüm sayıları ve metre cinsinden lokalizasyon hataları incelenmiştir. Konuyla ilgili örneklerde (Şekil 22-24) söz konusu optimizasyon yöntemleri için normal ve tespit edilen çapa düğümlerin ilk ve son konumları gösterilmiştir.



Şekil 23. 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında GWO yöntemiyle çapa düğüm yerleşimi.



Şekil 24. 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 m olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında deterministik (analitik) yöntemle çapa düğüm yerleşimi.

Söz konusu deneyde düğüm kapsama alanları sırasıyla 20, 25, 30 ve 35 metre olarak belirlenmiştir. Bu durumda gözlenen çapa düğüm sayıları ve lokalizasyon hataları düğüm kapsama alanına göre değişmekte ve Tablo 2’de görülmektedir. Temel olarak kapsama alanı arttıkça düğümlerin birbirleriyle olan kesişim sayısı ve dolayısıyla çapa düğüm aday konum sayısı artmaktadır. Bundan ötürü elde edilen çapa düğüm sayısı da artış sürecindedir. Burada

PSO ve GWO'nun hem çapa düğüm sayısı hem de lokalizasyon hatası alanlarında birbirine yaklaşık değerlere sahip olması dikkat edilmesi gereken bir husus olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan analitik yol her iki kıstasta da söz konusu metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin gerisinde kalmaktadır.

Ayrıca sabit düğüm sayısına karşın artan çapa düğüm sayısı yöntem fark etmeksizin lokalizasyonda giderek artan bir doğruluğa yol açmaktadır. Tablo 2 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20, 25, 30 ve 35 metre olan 10000 düğüme sahip bir KAA yapısında PSO, GWO ve analitik yolla elde edilen çapa düğüm sayıları ve lokalizasyon hatalarını göstermektedir.

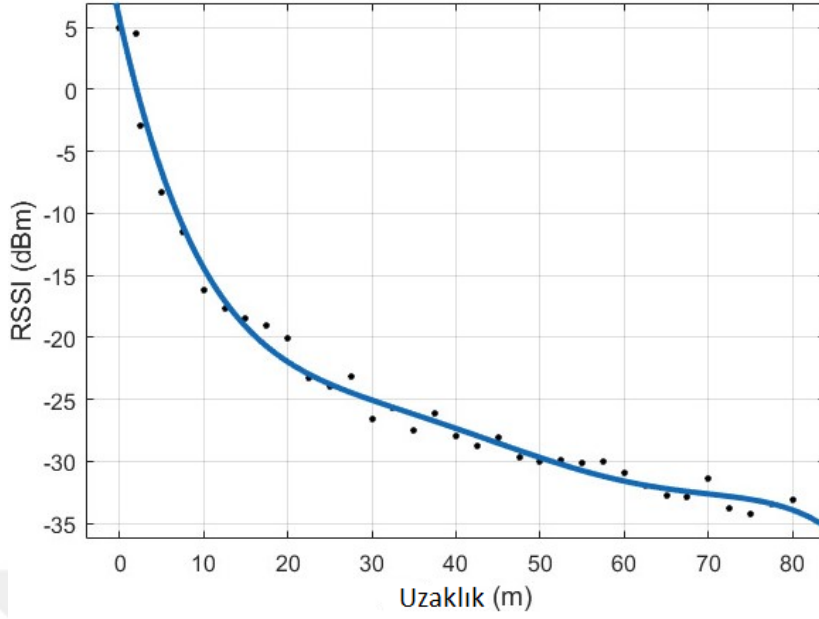
Tablo 2. 10000 düğüme sahip 15 kmX15 km boyutlarında ve kapsama alanı 20, 25, 30 ve 35 m olan bir KAA yapısında çapa düğüm sayıları ve lokalizasyon hataları.

	Kapsama Alanı (m)	20	25	30	35
Çapa Düğüm Sayısı	PSO	37.33	99.82	146.64	286.36
	GWO	37.64	105.17	148.11	291.25
	Analitik Yöntem	46.16	140.35	178.2	391.63
Lokalizasyon Hatası (m)	PSO	9.44	9.24	9.12	8.85
	GWO	9.42	9.25	8.99	8.84
	Analitik Yöntem	9.66	9.32	9.42	9.08

3.3. Alınan İşaret Gücünün (RSSI) Değerlendirilmesi

Bu bölümde, haberleşme uzaklığının RSSI üzerindeki etkisini, çapa düğümü numarası lokalizasyon doğruluğu ve çapa düğümlerinin sayısı üzerindeki ödünleşim seçenekleri değerlendirilmektedir. Şekil 25, deneylerde düğümlerin bağlantı noktalarına olan iletişim mesafelerine göre alınan sinyal gücünü göstermektedir. Eğri uydurma yöntemi ile ortalama RSSI değerlerinde tutarlı bir düşüş gözlemlenmiştir.

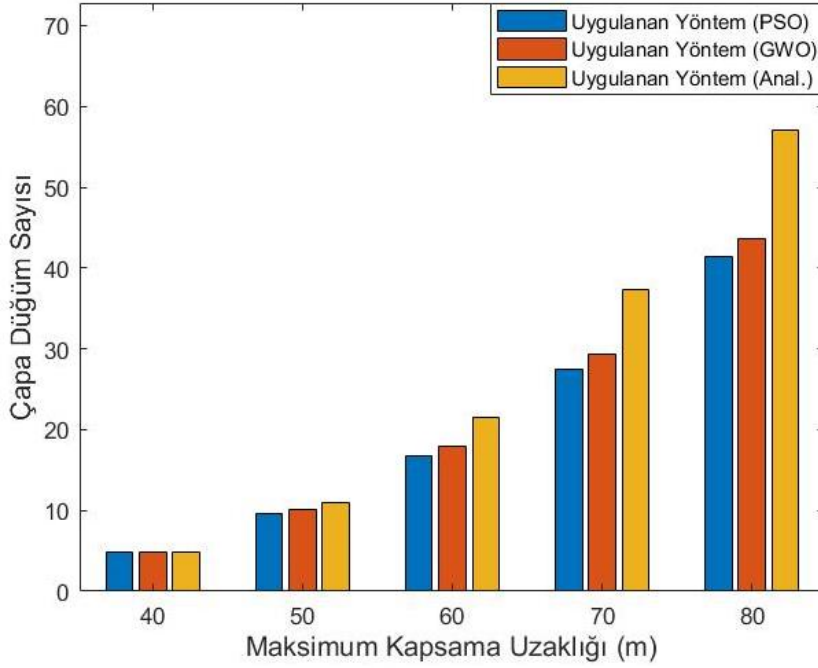
Çapa düğümler ve lokalizasyonu yapılmamış düğümler arasındaki mesafe 0 ile 80 m arasında değişmektedir. RSSI değeri, 0-10 metre uzaklıkta 5'ten -15 dB'ye hızla düşer. 10-80 metre mesafeler arasında bir başka düşüş de gözlenmektedir. Öte yandan bu bölgedeki azalma oranı birinci bölgeye göre oldukça düşüktür. Bu ikinci bölgedeki RSS varyasyonu yaklaşık 18-20 dB'dir.



Şekil 25. Lokalizasyonu yapılmamış düğümlerin çapa düğümlerine olan iletişim uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak RSSI.

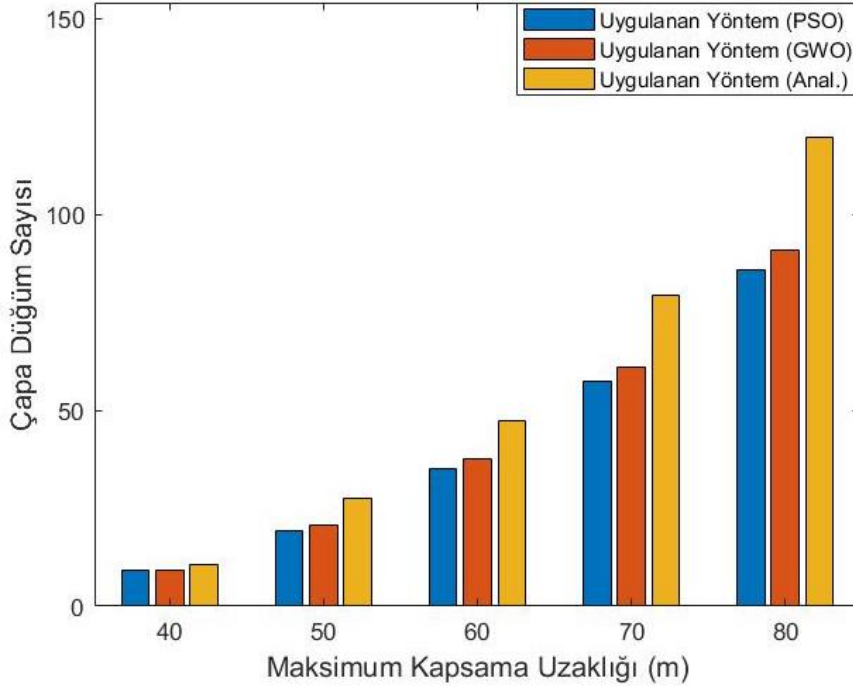
3.4. Kapsama Alanı Etkisi

Çapa düğüm sayısı ve diğer değerlerin belirlendiği bu deneyler için, 7500×7500 metrekairelik bir ağ alanına 750, 1000, 1250 ve 1500 düğümün yerleştirildiği dört farklı KAA ağ yapısı ele alınmıştır. Şekil 24-27, düğümlerin kapsama alanının değişimine karşın PSO, GWO ve Analitik Yöntem tarafından belirlenen çapa düğüm sayılarını göstermektedir. Maksimum kapsama alanı artarken, IA'ların artması nedeniyle çapa düğümler için verimli konum sayıları yükselir. Maksimum kapsama alanı 5 metrelik adımlarla 40 metreden 80 metreye çıkarılmıştır. Ayrıca KAA'daki düğüm sayısının 750'den 1500'e artması nedeniyle düğüm yoğunluğu ve çapa düğüm sayısı da artmaktadır. Bu değişiklik, Şekil 26, 27, 28 ve 29 arasındaki değerlerdeki farkı temsil eder. Söz konusu şekillerde gösterildiği gibi, PSO yöntemi, diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha düşük çapa konum sayılarına sahiptir. Öte yandan, GWO yönteminde, PSO'ya yakın çapa sayısı değerleri elde edilmiştir. Analitik yöntem ise daha düşük performans sonuçlarına neden olmuştur. Ayrıca, iki sezgisel optimizasyon yöntemi ile analitik yöntem arasındaki sayısal fark, bir düğümün maksimum kapsama uzaklığının artmasıyla büyümektedir. Örneğin, 40 metrelik bir maksimum kapsama uzaklığına sahip 750 düğüm senaryosunda, çapa düğüm sayıları sırasıyla PSO, GWO ve analitik yöntem için 4.82, 4.82 ve 4.88'dir.

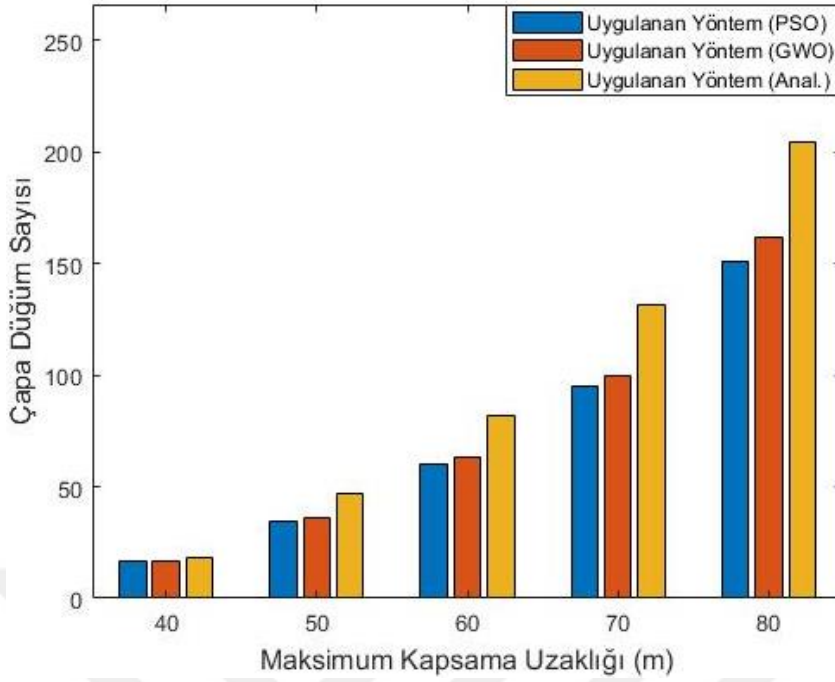


Şekil 26. 7500 m×7500 m alanda 750 düğüme sahip KAA'da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları.

Ancak 80 metre kapsama alanı ile 41.48, 43.7 ve 57.07 değerleri elde edilmektedir. Diğer üç KAA'da analitik yöntem ile optimizasyon yöntemleri arasındaki bu farklar daha büyüktür.

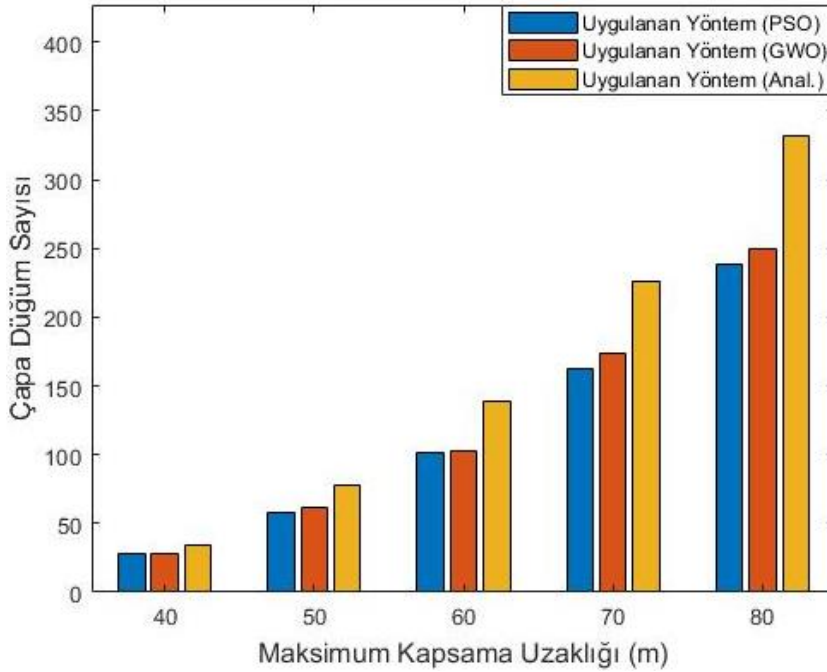


Şekil 27. 7500 m×7500 m alanda 1000 düğüme sahip KAA'da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları.



Şekil 28. 7500 m×7500 m alanda 1250 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları.

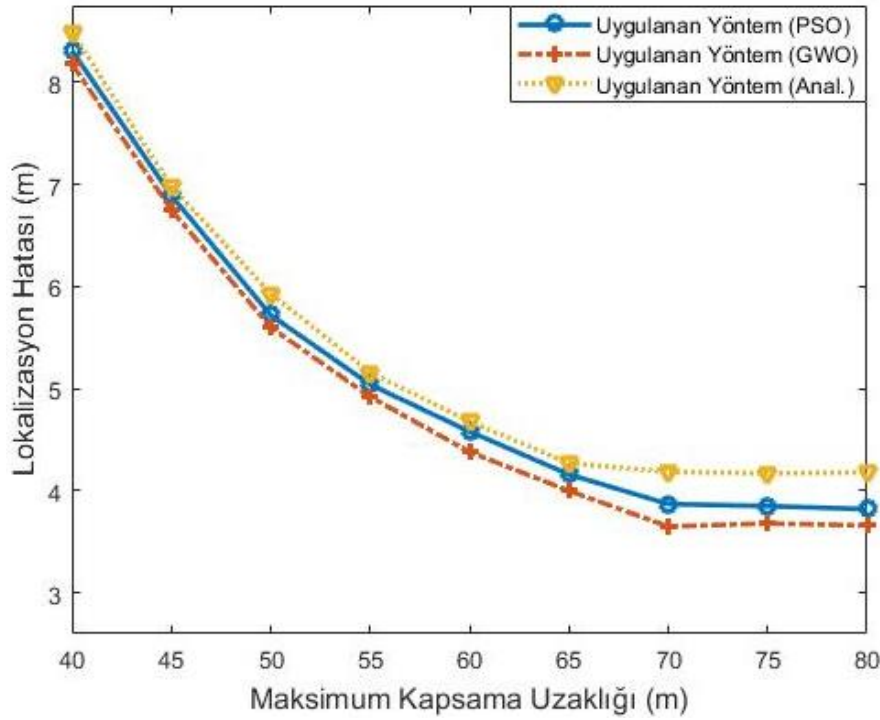
Örneğin, 40 metre kapsama alanına sahip 1500 düğümlü KAA için, PSO, GWO ve analitik yöntem için sırasıyla 27.71, 28.25 ve 34.68 çapa düğüm elde edilirken, 80 metre kapsama alanında ise sırasıyla 238.1, 249.2 ve 331.1 elde edilmiştir.



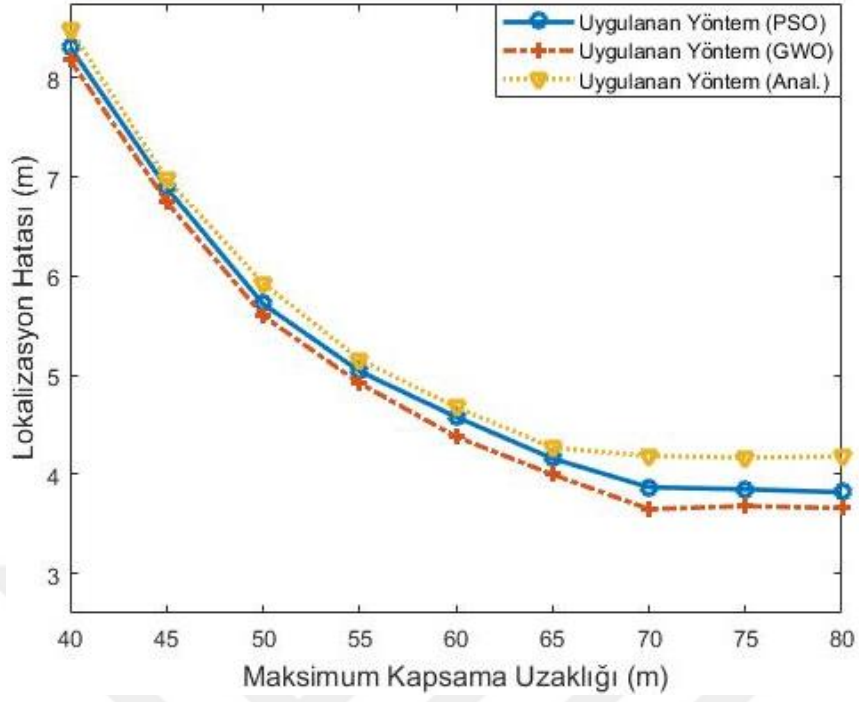
Şekil 29. 7500 m×7500 m alanda 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen minimum çapa düğüm sayıları.

Bu nedenle, bir KAA'daki IA'ların düğüm sayısı ve yoğunluğu, analitik yöntemin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, bu parametrelerin PSO ve GWO optimizasyonunun birlikte çalışabilirliği üzerinde daha az etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

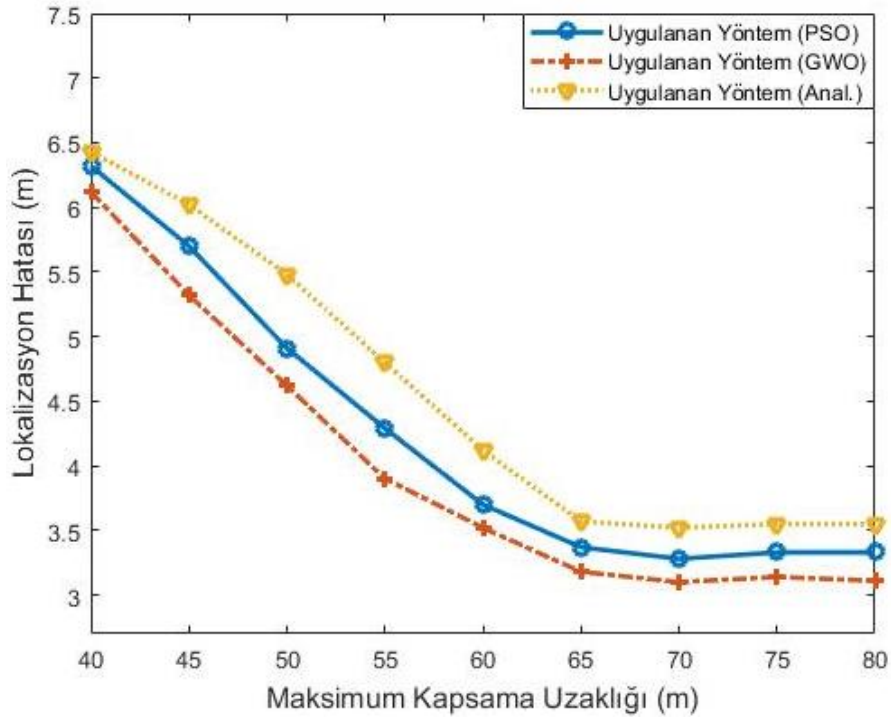
Düğümün maksimum kapsama alanı uzaklıklarının değiştirilmesi de lokalizasyon hatasını etkiler. Belirlenen çapa düğümlerle lokalizasyon simülasyonları yapılmıştır. Şekil 30-33'de gösterildiği gibi, bahsedilen dört KAA'dan elde edilen lokalizasyon sonuçları arasındaki farklar marjinaldir. Ayrıca, düğüm sayılarının ve dolayısıyla belirlenen çapa sayılarının artması nedeniyle Şekil 28-31'de gösterilen lokalizasyon hatalarında yavaş bir düşüş gözlenmektedir. Örneğin bu hatalar sırasıyla 750, 1000, 1250 ve 1500 düğüme sahip KAA'lar için 8,49-3,66 metre, 7,72-2,73 metre, 6,72-2,54 ve 5,33-2,09 metre arasında değişmektedir. Ayrıca, GWO çapa konuşlandırma algoritmasının daha iyi doğruluğa neden olduğu, buna karşın PSO ve analitik yöntem algoritmalarının lokalizasyon için daha az kesinliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu yöntemin en fazla sayıda çapa düğümüne sahip olmasına rağmen, analitik yöntemin doğruluğu daha düşük seviyededir. Uzaklığın çapa düğüm sayısı ve lokalizasyon hataları üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir.



Şekil 30. 7500 m×7500 m alanda 750 düğüme sahip KAA'da elde edilen lokalizasyon hataları.

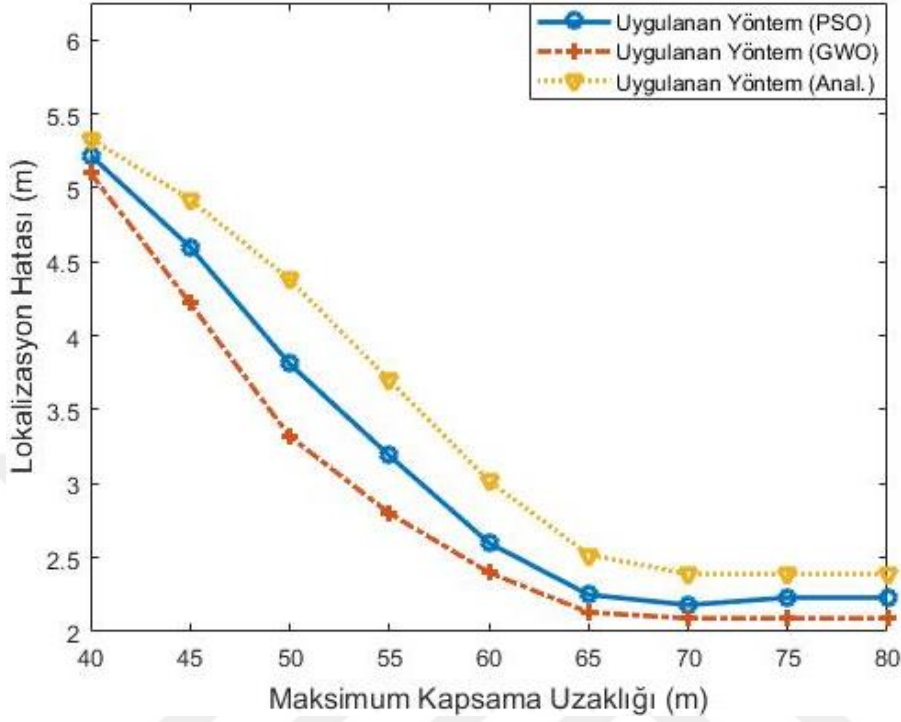


Şekil 31. 7500 m×7500 m alanda 1000 düğümüne sahip KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları.



Şekil 32. 7500 m×7500 m alanda 1250 düğümüne sahip KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları.

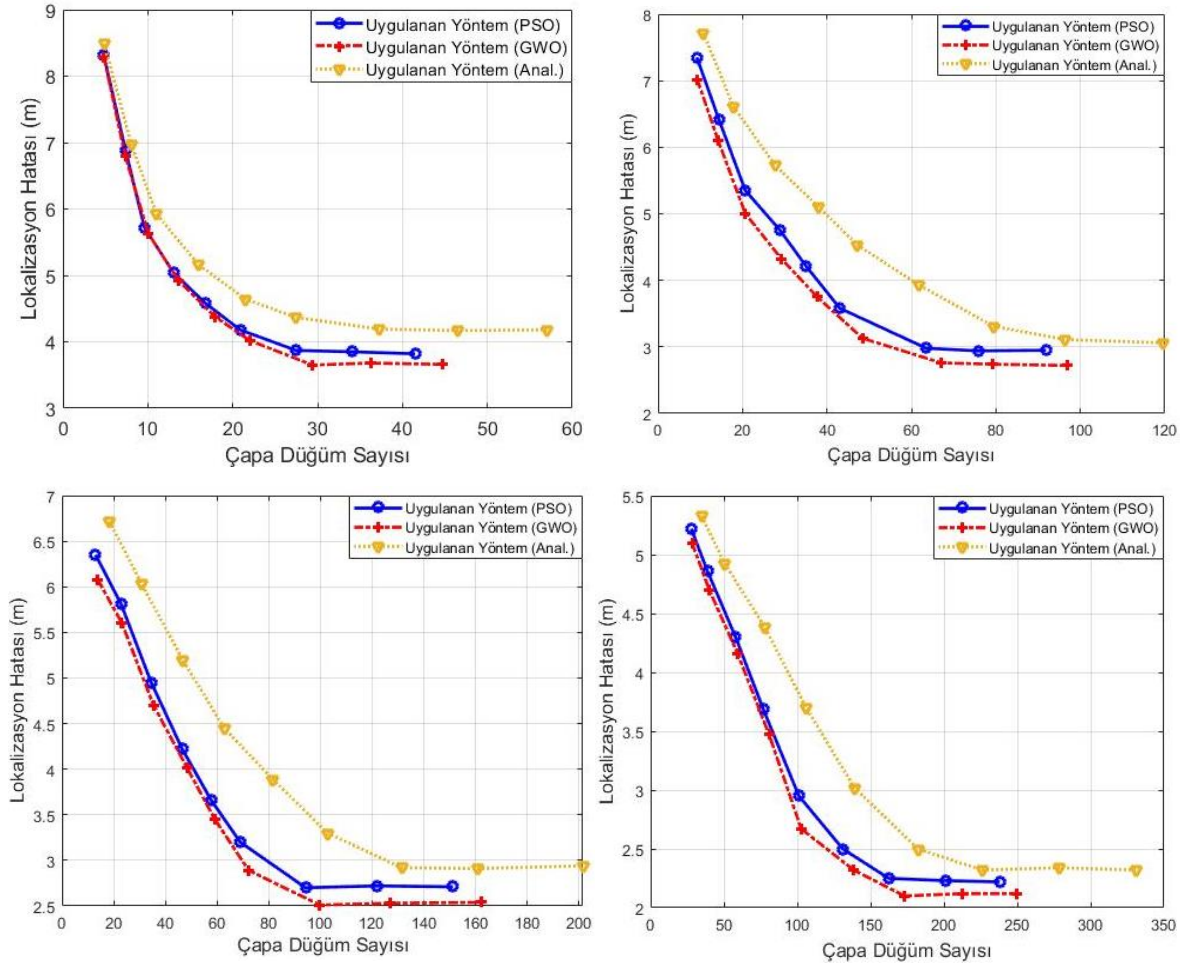
Ancak, farklı koşullar altında hangi algoritmanın diğerlerinden daha iyi performans gösterdiğini bulmak çok kolay değildir.



Şekil 33. 7500 m×7500 m alanda 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen lokalizasyon hataları.

Korelasyonları daha iyi anlamak için, lokalizasyon hataları ile çapa sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren çoklu grafikler sunulmaktadır. Özellikle, bu grafikler bir ağdaki çapa düğümlerinin yoğunluğu ile lokalizasyon hataları arasındaki dengeyi gösterir.

Bu grafiklerde, orijin noktalarına daha yakın olan çizgiler, yukarıda bahsedilen ödünleşme açısından diğerlerinden daha iyi performans gösteren algoritmaları temsil etmektedir. Ayrıca, Şekil 34, daha önceki çapa düğüm sayıları ve lokalizasyon hatalarına dair verileri (Şekil 26-33) yansıttığından, Şekil 34a, b, c ve d arasındaki değişiklikler bu önceki grafiklerden kaynaklanmaktadır. Söz konusu şekillere göre, GWO, lokalizasyon sonuçları açısından diğer tüm algoritmalarından daha iyi performans göstermektedir. Sırasıyla 750,1000,1250 ve 1500'e sahip KAA'lara uygulanan GWO yöntemi için çapa düğümlerinin artışından etkilenmeyen yaklaşık lokalizasyon hata seviyeleri 3,68, 2,75, 2,53 ve 2,12 metre olmaktadır. Öte yandan, PSO, analitik yöntemle kıyasla nispeten sabit bir çizgiye ve daha iyi sonuçlara sahiptir. Bu durum PSO'yu çapa düğüm belirlemede daha iyi bir yol haline getirir. 3.85, 2.84, 2.7 ve 2.24 metre, çapa düğüm sayısındaki artıştan etkilenmeyen daha iyi bir denge (trade-off) seçeneği sağlayan lokalizasyon hata değerleridir.

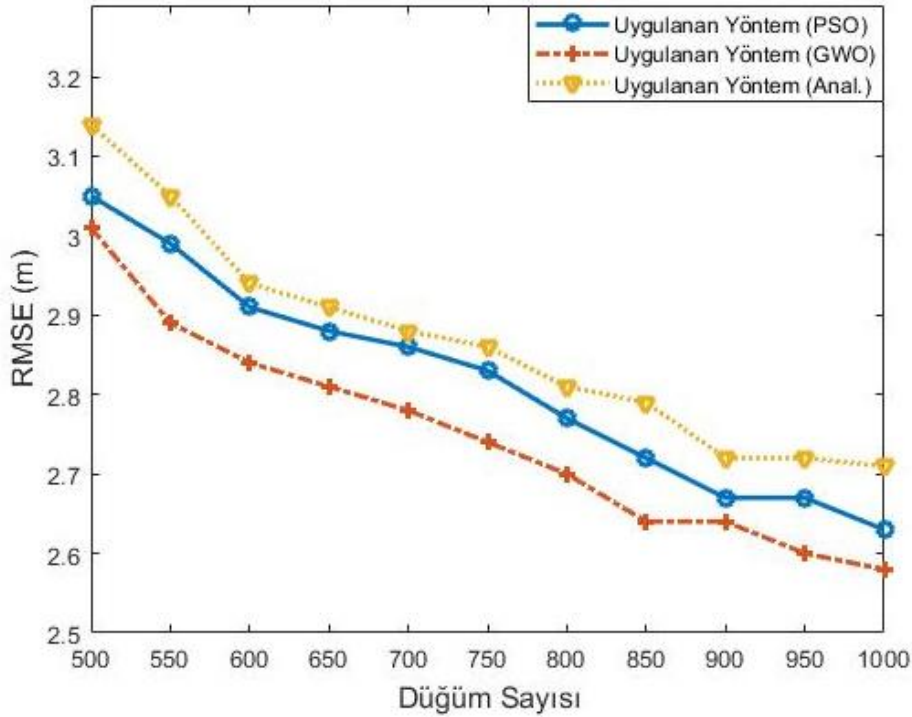


Şekil 34. 7500 m×7500 m alanda (a) 750, (b) 1000, (c) 1250, (d) 1500 düğüme sahip KAA’da elde edilen çapa düğüm-lokalizasyon ödünleşim (trade-off) eğrileri.

3.5. Düğüm Sayısı Etkisi

Bir KAA’daki çapa düğümlerinin sayısı ve lokalizasyon hataları, ağ boyutu ve maksimum kapsama uzaklığı değişmeden kalırsa, sensör düğümlerinin sayısına bağlıdır. Şekil 35, bir KAA’daki düğüm sayısı ile lokalizasyon hatası arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu simülasyonda maksimum kapsama uzaklığı 50 metre, ağ boyutu 4000 metre×4000 metre olmaktadır. Algılayıcı düğüm sayısı 500 ile 1000 arasında değişmektedir, dolayısıyla çapa düğüm sayısı sırasıyla 20 ile 215 arasında belirlenmiştir. Çapa düğümlerinin artması nedeniyle lokalizasyon hataları azalır. Grafiğin y eksenindeki RMSE değerleri 2.5 ve 3.2 metre aralığında görüntülediğinden, bu değişimlerin RMSE hata sonuçları üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olmasına rağmen, Şekil 35’deki marjinal tutarsızlıkların varlığını belirtmek önemlidir. GWO algoritması, açıklanan üç yöntem arasında biraz daha iyi

lokalisasyon sonuçları elde etmiş ve doğruluk 3.01-2.58 metre arasında değişir. Buna ek olarak, PSO ve analitik yöntem çalıştırılırken RMSE hataları sırasıyla 3,05 metreden 2,63'e ve 3,14 metreden 2,71'e düşürülebilmektedir. Bununla birlikte, yine de, PSO ve GWO, bu tür simülasyonda çapa düğümlerini belirlemek için daha başarılı seçeneklerdir. Örneğin, PSO 500 düğümlük ağdaki çapa düğümlerinin ortalama değeri olarak 26.5 değerini elde etmiştir. Aynı koşullar altında ağ, GWO için 26.75 ortalama değer sağlamaktadır. Analitik yöntem ise yukarıda belirtilen RMSE sonuçlarını sağlamak için 32.78 çapayı kullanmıştır. Benzer durumlar diğer simüle edilmiş ağlar için de geçerlidir ve analitik yaklaşımın sonuçları da daha kötüdür. Bu koşullar altında analitik yöntemin ekonomik bir seçeneğin parçası olmak için yeterli olmadığı açıktır. GWO ve PSO, bu tür büyük ölçekli KAA lokalizasyonu elde etmek için daha kullanışlı seçeneklerdir.

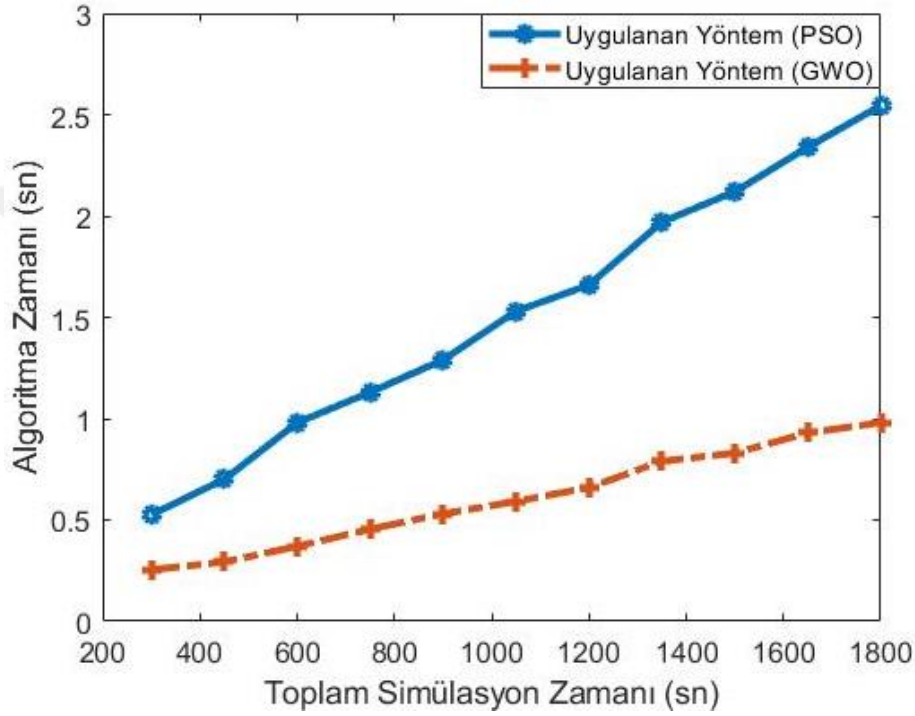


Şekil 35. 4000 m×4000 m KAA'daki değişen düğüm sayılarının lokalizasyon hatasına etkisi.

3.6. Uygulanan Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerinin İcra Zamanları

Büyük ölçekli bir KAA'da, tüm düğümler için çeşitli parametrelerin kullanılması nedeniyle optimizasyon yöntemlerinin yürütülmesi simülasyonlardaki analitik tekniklerden daha uzun sürebilir. Bu nedenle, sürü optimizasyonlarının yürütme süreleri, uzun ve sürekli simülasyonlarda önemli bir role sahiptir. Çok uzun sürerse bu durum tekniğin verimini

olumsuz etkilemektedir. Algoritmaları çalıştırmak için geçen süreyi ölçtüğümüz deneylerimizde simülasyon, 4000 metre×4000 metre boyutunda bir ağda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bir önceki simülasyonda olduğu gibi maksimum haberleşme uzaklığı 50 metre olan 500 düğüme sahiptir. Şekil 36'da gösterildiği gibi, simülasyonlar 300-1800 saniyelik zaman aralıklarıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, GWO simülasyon sırasında gözle görülür düzeyde daha az zaman almıştır.

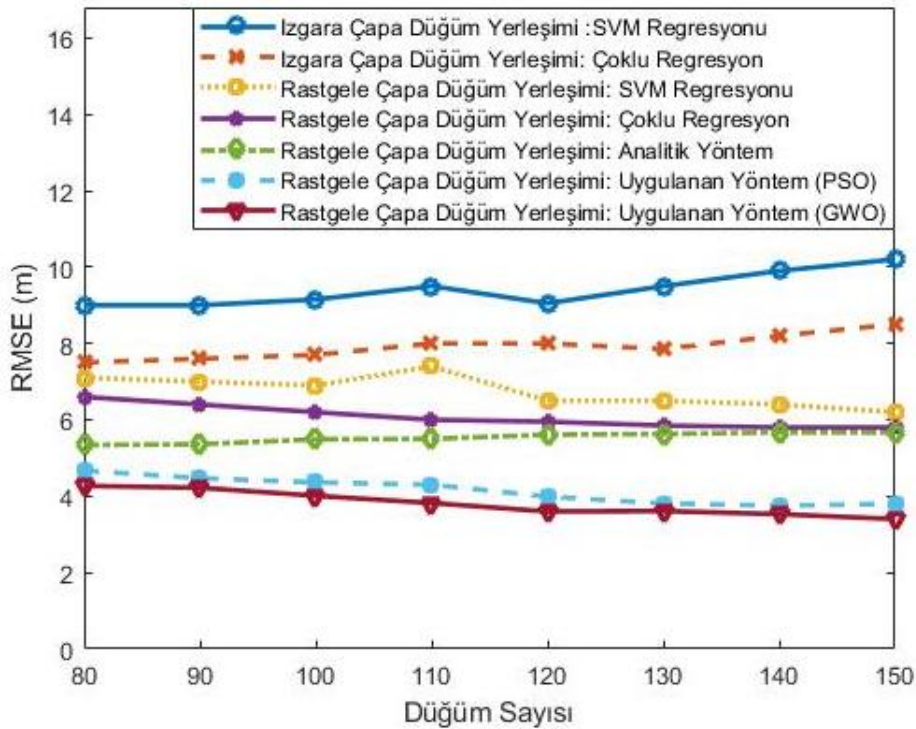


Şekil 36. 4000 m × 4000 m KAA'da 1800 saniye boyunca GWO ve PSO çapa düğüm yerleşim algoritmalarının algoritma icra süreleri.

PSO ve GWO arasındaki fark, zaman geçtikçe artmaktadır. Toplam simülasyon süresi 1800 saniye iken PSO'nun çalışma süresi yaklaşık 2,55 saniyedir. Bu nedenle 1800 saniyelik bir sürekli simülasyon için lokalizasyonda 2,5 saniyelik bir gecikmeye neden olunabilir. Bu değer GWO yöntemi için ise yaklaşık 0.98 saniyedir. Analitik yöntemde sürekli bir süreç mevcut olmadığı için söz konusu optimizasyon algoritmaları ile analitik yöntem arasında bir mukayese yapılamamaktadır.

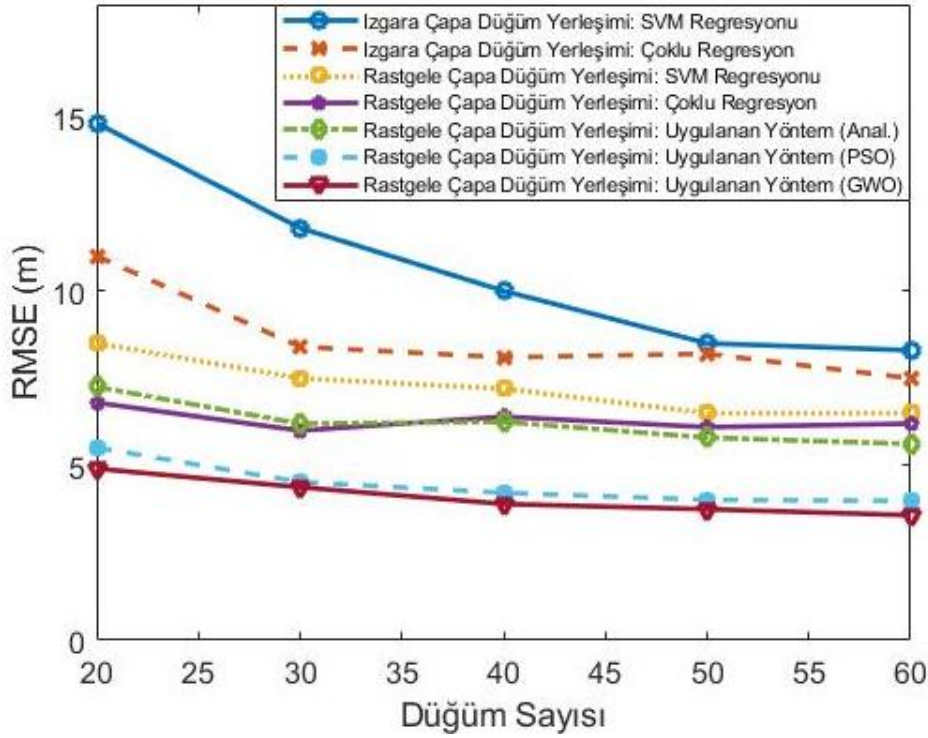
3.7. Makine Öğrenme Yöntemleriyle Lokalizasyon Açısından Mukayese

Bu alt bölümde, GWO, PSO ve Analitik yöntemi Çoklu Regresyon ve Destek Vektör Makinesi (SVM) yaklaşımlarıyla karşılaştırılmaktadır. Bu makine öğrenimi yöntemleri, büyük ölçekli KAA'lar için lokalizasyon işlemini gerçekleştirmenin öne çıkan yollarıdır [186]. Bu çalışmada lokalizasyon bir regresyon problemi olarak ele alınmaktadır. Çapa düğüm popülasyonu, ağ boyutu ve bu modellerin lokalizasyon doğruluğu gibi değişen ağ parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca çapa dağılım türlerinin lokalizasyona etkisine analiz edilmiştir. İlk deneyde hedefimiz, çapa düğüm sayısı sabit tutulurken yeni düğümler ekleme durumunda bir KAA'nın lokalizasyon performansını incelemektir. Şekil 37 bu ilişkiyi göstermektedir. Bu anlamda 100 m×100 m ağ alanında düğüm sayısı 80-150 arasında değişmektedir. Öte yandan, bu deney için çapa düğümlerinin sayısı 40'tır. GWO, PSO ve analitik yöntem, bazı durumlarda 40'tan küçük veya daha büyük olabilen farklı sayıda çapa düğümü verebilir. Çapa düğümlerinin sayısı 40'tan fazlaysa, simülasyon en verimli 40 çapa düğümünü dikkate alır ve bu çapa düğümleriyle lokalizasyon gerçekleştirilir. Değerler 40'tan küçükse simülasyon kesintiye uğrar ve sonuçlar dikkate alınmaz.



Şekil 37. Sabit çapa düğüm sayısına karşın düğüm sayısını artırmanın lokalizasyon performanslarına etkisi.

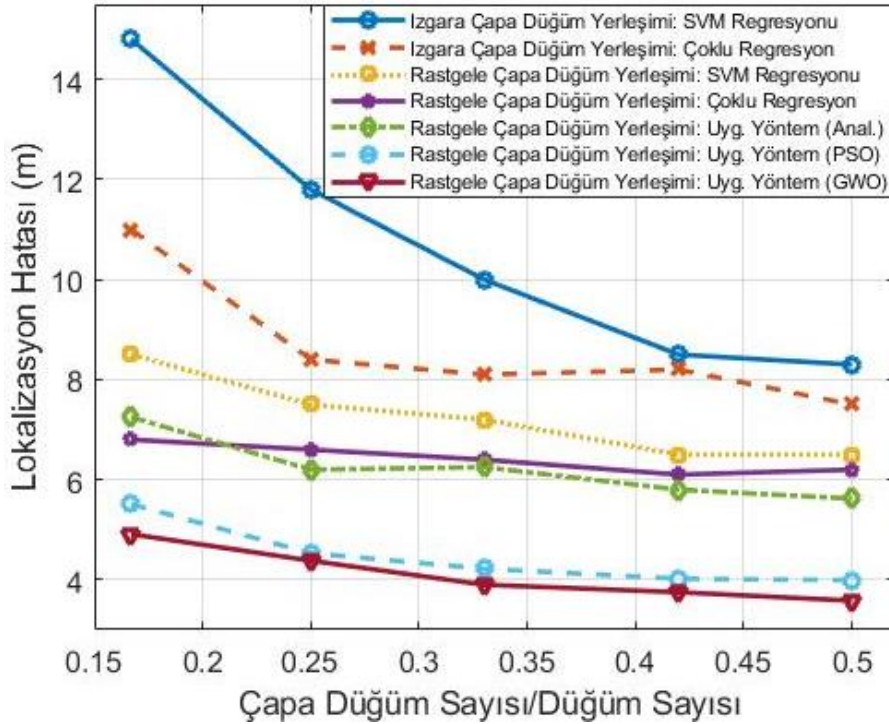
Bu deneyde iki tür SVM ve Çoklu Regresyon çapa yerleşimi vardır. Bunlar rastgele çapa dağıtımı ve ızgara çapa dağıtımıdır. Aksine, bir KAA'da etkin çapa konuşlandırma koordinatlarının seçilmesi nedeniyle, GWO, PSO ve analitik yöntem, rastgele çapa yerleşimi ile kullanılabilir. Bu deneyde, GWO, 3.4 metre RMSE sağlayarak PSO'dan biraz daha iyi performans göstermektedir. Açıkçası bu iki algoritma diğer yöntemlere göre daha başarılıdır. Analitik yöntemin lokalizasyon hatası, sensör düğümlerinin artmasıyla artmış ve 5.34 metre RMSE elde edilmiştir. SVM ve Çoklu Regresyon, özellikle ızgara çapa dağıtımları olmak üzere daha yüksek lokalizasyon hatalarına sahiptir. Izgara dağılımında, bu iki algoritmanın RMSE'leri, yeni düğümlerin eklenmesiyle artar. Sensör düğümlerinin sayısını sabit tutarken daha fazla çapa düğümü kullanmanın etkisi de analiz edilmektedir. Bu ilişkiler, Şekil 38'de gösterilmektedir. KAA, bu testte 120 sensör düğümüne sahiptir. Ayrıca çapa düğüm sayısı 20-60 arasında değişmektedir.



Şekil 38. Sabit düğüm sayısına karşın çapa düğüm sayısını artırmanın lokalizasyon performanslarına etkisi.

Bu deneyin sonuçlarına göre GWO diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmekte ve RMSE olarak 3,58 metreye ulaşmaktadır. Ayrıca, sonuçlara göre PSO, GWO'dan biraz daha düşük performans göstermektedir. Öte yandan, analitik yöntem ve makine öğrenmesi yöntemleri, RSME için 5,62-14.8 metrelik sonuçlar vermektedir. Özellikle ızgara

çapa yerleştirme tekniğine sahip makine öğrenimi yöntemleri, bu test alanında düşük verimli bir yol olarak tanımlanabilir. Bu durumlara ek olarak, lokalizasyonun verimliliği analiz edilmektedir. Bu, çapa düğüm sayısının algılayıcı düğüm sayısına oranı ve doğal konum belirleme hatası olan iki parametrenin ilişkisi ile daha iyi anlaşılabilir. Bu ödünleşme deney sonuçları ile Şekil 39'da gösterilmiştir. GWO, KAA'daki düğümlerin çapa düğüm sayısı oranı kıstasına göre daha düşük lokalizasyon hatasına sahiptir. Bu yönüyle GWO, bu testte en verimli algoritma olarak kabul edilmektedir. PSO'nun performansı GWO'dan biraz daha düşük olsa da, grafikte benzer bir eğilim mevcuttur. Ayrıca, bu tür çapa yerleştirme yöntemi, makine öğrenimi yöntemleri ve analitik yöntemle karşılaştırdığımızda lokalizasyon açısından daha avantajlıdır. Önceki deneylere benzer şekilde, SVM'deki ızgara çapa dağıtımları ve çoklu regresyon, bu ödünleşim grafiğinde daha düşük performansı göstermektedir. Bu alt bölümde yapılan simülasyonlar ilgili çalışmadan [186] direkt olarak alınan sonuçlarla mukayese edilmiştir. Söz konusu çalışmada çapa düğümü yerleşimi dikkate alınmamıştır. Bu anlamda seçkin çapa düğüm yerleşiminin lokalizasyon için ne kadar önemli olduğu bir kez daha görülmüştür.



Şekil 39. Değişen çapa düğüm numaralarının tüm düğümlere oranı ile lokalizasyon hataları arasındaki ödünleşimlerin (trade-off) karşılaştırılması.

3.8. DV-Hop Yöntemiyle Mukayese

Bu alt bölümde Cheikhrouhou vd. tarafından yapılan çalışmada [185] kullandıkları ve yukarıda anlatılan DV-Hop yaklaşımı ile çalışmamızda kullanmış olduğumuz yöntem mukayese edilmiştir. Lokalizasyon için kullanmış olduğumuz EKK yöntemi ve Hibrit DV-Hop yöntemi esas alınmıştır. Ancak çapa düğüm yerleşim yaklaşımımız her iki lokalizasyon öncesinde uygulanmıştır.

İki sahada simulasyonlar gerçekleştirilmiştir. Düğümlerin maksimum kapsama uzaklığı her iki durumda da 20 metredir. Bu sahalardan ilki 1000 x 1000 metre boyutlarında olmaktadır. Söz konusu deneyde KAA yapısı 100-200 arasında düğüm mevcuttur. Aşağıda Tablo 3'te ilgili simulasyonlara dair sonuçlar verilmiştir. Doğal olarak düğüm sayısı arttıkça elde edilen çapa düğüm sayısında artmakta ve lokalizasyon hatası düşmektedir. Simülasyonlarda görüldüğü üzere EKK yöntemiyle gerçekleşen lokalizasyon hataları daha düşüktür. DV-Hop yönteminden hatırlanacağı üzere lokalizasyon bir düğümün çapa düğümüne basamak düğüm ve metrik uzaklıklarıyla ilintilidir. Bu durumda çapa düğüm fazlalığı doğal olarak basamak düğüm sayısını azaltacaktır. Bundan dolayı da lokalizasyon hatası kümülatif olarak azalabilecektir. Zira ortalama lokalizasyon hatalarının DV-Hop yöntemi için düşüş hızı bu durumu kanıtlamaktadır. Diğer taraftan EKK yönteminde ise yine bir hata değerlerinde düşüş olmasına rağmen, bu durum doğrusal olarak mevcuttur.

Tablo 3. 100-200 düğümüne sahip 1 kmX1 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 metre olan bir KAA yapılarında çapa düğüm sayıları ve EKK ve DV-Hop yöntemlerine dair lokalizasyon hataları.

	Düğüm Sayısı	Çapa Sayısı			Lokalizasyon Hatası (m)					
		PSO	GWO	Analitik Yöntem	PSO		GWO		Analitik Yöntem	
					EKK	DV-Hop	EKK	DV-Hop	EKK	DV-Hop
	100	4.52	4.58	4.64	2.43	4,28	2,4	4,12	2,63	4,94
	110	4.9	5.5	5.71	2,36	4,11	2,33	4,04	2,44	4,65
	120	5.82	6.09	5.94	2,33	3,97	2,17	4,08	2,33	4,34
	130	5.36	6	6.26	2,32	4,22	2,24	3,68	2,49	4,40
	140	5.6	6.8	7.04	2,14	3,49	2,11	2,8	2,3	4,11
	150	7.44	7	7.86	2,07	2,94	1,86	2,76	2,28	3,91
	160	8.6	9.02	9.2	2,01	2,82	1,79	2,65	2,29	3,8
	170	9.8	10.24	10.55	1,98	2,75	1,74	2,53	2,24	3,05
	180	11.45	11.64	11.88	1,85	2,48	1,54	2,39	2,21	2,64
	190	13.34	13.69	13.97	1,59	2,15	1,33	1,98	2,09	2,21
	200	15.5	16.86	14.5	1,47	1,96	1,24	1,77	1,84	1,90

Ancak her hâlükârda basamak sistemi ve büyük boyutlu KAA yapısında getirdiği kümülatif hatalar DV-Hop yöntemini bu çeşit KAA'lar için daha az tercih edilebilir bir yaklaşım yapar. Diğer taraftan lokalizasyon anlamında GWO ile yapılan çapa düğüm yerleşimleri hem EKK, hem de DV-Hop lokalizasyonları için en başarılı sonuçları vermiştir. PSO ve Analitik Yöntem sırasıyla bu alanda ikinci ve üçüncü başarılı yerleşim teknikleridir. EKK için hata aralığı 2,63-1,24 metreyken, DV-Hop yaklaşımı için 4,94-1,77 metre aralığı söz konusudur.

Diğer bir uygulamada 1300 metre x 1300 metre boyutlarında ve kapsama alanı 20 metre olan bir KAA yapısı için uygulanmıştır. Benzer durumlar ve sonuçlar bu saha içinde mevcuttur. EKK için hata aralığı 3,48-1,07 metreyken, DV-Hop yaklaşımı için 4,79-2,29 metre aralığı söz konusudur.

Tablo 4. 150-350 düğüme sahip 1 kmX1 km boyutlarında ve kapsama alanı 20 metre olan bir KAA yapılarında çapa düğüm sayıları ve EKK ve DV-Hop yöntemlerine dair lokalizasyon hataları.

	Düğüm Sayısı	Çapa Sayısı			Lokalizasyon Hatası (m)					
		PSO	GWO	Analitik Yöntem	PSO		GWO		Analitik Yöntem	
					EKK	DV-Hop	EKK	DV-Hop	EKK	DV-Hop
	150	4,44	4,81	4,75	2,91	4,7	2,83	4,57	3,48	4,79
	175	4,9	5,5	5,71	2,83	4,11	2,63	4,04	3,13	4,42
	200	6,75	6,75	5,56	2,65	3,55	2,39	3,39	3	3,9
	225	9,29	10,00	7,00	2,32	3,35	2,09	3,18	2,69	3,69
	250	12,00	12,31	10,23	2,22	3,01	1,94	2,88	2,58	3,45
	275	13,65	14,25	10,75	2,07	2,74	1,76	2,61	2,39	3,21
	300	20,19	20,88	18,38	1,29	2,55	1,3	2,49	2,31	2,96
	325	24,07	25,50	21,57	1,12	2,45	1,15	2,37	1,98	2,94
	350	28,55	29,00	23,82	1,08	2,39	1,07	2,29	1,77	2,73

Sonuç olarak lokalizasyon ile ilgili çapa yerleştirme problemi için önerilen GWO ve PSO algoritmaları başarılı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Deneylerin sonuçları, GWO ve analitik yönteme kıyasla PSO'nun konuşlandırma için minimum ve verimli sayıda çapa düğümü konumu sağladığını göstermektedir. PSO algoritması, dinamik optimizasyonu nedeniyle daha iyidir. Bu çözüm, lokalizasyon hatası anlamında yüksek performans sahiptir. Öte yandan, GWO, PSO'dan biraz daha fazla çapa düğümü ile minimum lokalizasyon hatalarını gerçekleştirmiştir. Her iki algoritma da büyük ölçekli KAA ortamı için kullanılan diğer lokalizasyon yöntemlerinden daha iyi performans göstermektedir. Her iki yön için bir ödünleşim çizelgesi oluşturulduğunda, GWO'nun PSO yaklaşımından biraz daha verimli olduğu gözlemlenebilir. Son olarak, sonuçlarımız, makul miktarda çapa

düğümü ile minimum lokalizasyon hatası elde etmek için GWO yönteminin daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır. Buna karşılık, PSO algoritması, lokalizasyon için daha az çapa düğümü ortaya çıkarmıştır. KAA'daki sensör düğüm numarasının değişimi sırasındaki kararlılığı ve çapa düğümlerini elde etmek için daha az hesaplama süresi, GWO algoritmasının ek avantajları olarak düşünülebilir.



4. SONUÇLAR

KAA, çeşitli noktalardan veri toplayabilen ve bunu ortamı aktif hale getirmek için kullanabilen bir yapıdır. KAA'daki düğümlerin konum bilgilerinin toplanması, birçok alanda kullanılabilen ve yarar sağlayabilmektedir. Bu nedenle, lokalizasyon süreci, başlangıçta KAA'daki düğümler için iki önem arzeden önemli bir konudur. Ağ içindeki düğümlerin lokalizasyon için iki role sahip olması söz konusudur. Bu çerçevede lokalizasyonu yapılmamış düğümler veya çapa düğümleri mevcut olmaktadır. Çapa düğümleri, kendi konum bilgilerine sahip olan ve ağdaki lokalizasyonu yapılmamış düğümlerin lokalizasyonuna yardımcı olabilecek KAA öğeleridir. Lokalizasyon sürecinde, çapa düğümlerinin varlığı ve verimliliği, düğümlerin doğru konum bilgilerinin elde edilmesinde önemli bir role sahiptir.

Tez çalışması kapsamında verimli olabilecek çapa düğümlerinin yerleşimi için çeşitli optimizasyon yöntem ve konum seçme tekniklerini içeren etkin bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca tasarlanan yöntemin test edilmesi amacıyla olaya güdümlü benzetim ortamı oluşturulmuş ve literatürde yer alan farklı lokalizasyon yöntemleri de kullanılarak kapsamlı sayısal veriler çıkarılmıştır.

Ortaya konan çapa düğüm yerleşim yönteminin icrası için 3 temel aşama tanımlanmıştır. Bu aşamalar sırasıyla sanal koordinatlarla KAA oluşturulması, optimizasyon ve lokalizasyon aşamalarıdır. İlk aşamada sanal bir koordinat sistemi üretilmiş ve sanal koordinatlarla düğümler konumlandırılmıştır. Söz konusu yöntemde öncelikle bir düğüm koordinat sisteminin merkez (orjini) olarak atanmış daha sonra ise uzaklık ölçümü ve trigonometrik işlemler sayesinde düğümleri göreceli olarak sanal koordinatları belirlenmiştir. Bu işlem sırasında, KAA'daki her düğüm, komşularından tek atlamalı komşulara olan mesafeler ve komşuluk bilgileri gibi çeşitli veriler almıştır. Bu veriler alınırken tüm KAA yapısından tek yönlü veri toplanması amacıyla sel (flooding) yöntemi kullanılmıştır. Böylece her düğüm iki sekmeli komşularını ve onlara olan uzaklıklarını bilmektedir.

Sanal koordinat sisteminin oluşturulmasından sonra tezde uygulanan yöntemin ikinci kısmı optimizasyon aşamasıdır. Bu anlamda bu aşamanın ilk adımında önceki aşamadaki düğümlere ait bilgilerin sel yönlendirmesinin son düğümünde, tüm KAA'ya ait komşuluk, bir derece uzaklık vb. bilgiler toplanmaktadır. Tez kapsamında, çapa düğümlerinin olası

yerleşimleri daha çok düğümle haberleşme tesis edilip, lokalizasyon sağlanabilmesi amacıyla düğümler arasındaki kesişim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple sensör düğümlerinin kesişim alanları ve kesişim alanı merkez noktalarının koordinatları belirlenir. Tez çalışmasında bu amaçla öncelikle Graham tarama yöntemi kullanılmış ve kesişim alanları tespit edilmiştir. Söz konusu ikili kesişimler vasıtasıyla çoklu kesişimlerin sayılarında elde edilmiş ve bir olası çapa düğüm yerleşiminin kaç düğümün kapsama alanında olduğu bulunmuştur. Daha sonra ise ağırlık merkezi yöntemleriyle kesişim alanlarının merkez noktaları olası çapa düğüm yerleşimleri için tespit edilmiştir.

Tez içindeki önemli bir süreçte söz konusu olası çapa düğüm yerleşimlerinin verimlilerinin seçilmesi, daha az verimli olanların ise elemelerinin metasezgisel optimizasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmesidir. Bu anlamda ilgili konuları seçmek için PSO ve GWO optimizasyon algoritmaları ve analitik yöntemler uygulanmıştır. Çapa düğümlerinin konuları belirlenirken, lokalizasyon ile ilgili parametreler başarılı bir optimizasyona yardımcı olan bir uygunluk fonksiyonu oluşturulmuştur. Uygunluk fonksiyonu özellikle lokalizasyon temelli bileşenlerden oluşturulmaya çalışılmıştır. Nitekim bu bileşenlerden bazıları literatürde ilk defa kullanılmıştır. Her iki metasezgisel optimizasyon ve analitik yöntem sayesinde aynı topolojilerde farklı konum ve sayıda çapa düğüm elde edilebilmektedir.

Tez kapsamında, seçilen konumlarda çapa düğüm olduğu düşünülerek yinelemeli lokalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu lokalizasyon sürecinde ise yöntem olarak EKK tekniği seçilmiştir. GWO ve PSO algoritmaları, çapa düğümlerini yerleştirmek için verimli konuları seçmek amacıyla daha önce hiç kullanılmamıştır.

Tez içeriğinde GWO yönteminin çapa sayısı, lokalizasyon hatası, algoritmanın çalışma süresi vb. sayısal sonuçlar çapa yerleştirme aşamasında PSO ve Analitik yöntem ile karşılaştırılmıştır. Öncelikle çok büyük bir alanda ve çok yüksek sayıda düğümle gerçekleşen simülasyonlarda lokalizasyon hataları ve çapa düğüm sayıları irdelenmiştir. Çeşitli kapsama alanlarına göre elde edilen sonuçlar değişmiştir. Lokalizasyon hatası ve bu hata ile çapa sayıları arasındaki ödünleşim bu aşamada da analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde, simülasyon sonuçlarını elde etmek için bir düğümün maksimum kapsama uzaklığı, KAA'nın boyutu ve sensör düğümlerinin sayısı gibi birçok parametre değiştirilmiştir. Bu sonuçlara göre, PSO algoritması kullanılarak, lokalizasyon için GWO'dan biraz daha düşük olan minimum çapa düğüm sayıları elde edilmiştir. GWO

tekniki ise bu yöntemler arasında en doğru lokalizasyonu sağlamıştır. Ayrıca PSO ile karşılaştırdığımızda daha kısa süreli icra avantajına sahiptir.

Lokalizasyon aşamasında ise, yukarıda belirtilen yöntemler makine öğrenmesi yöntemleri sonuçları (çoklu regresyon ve SVM) ile karşılaştırılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemlerinde çapa düğümler ızgara veya rastgele yerleşimle konuşlandırılmıştır. İki durum ile bu mukayese gerçekleştirilmiştir. İlk durumda sabit çapa düğüm sayısına karşın düğüm sayısı artırılırken, diğer durumda ise sabit düğüm sayısına karşın çapa düğüm sayısı artmaktadır. Her iki durumda da GWO, PSO'ya nispetle daha az lokalizasyon hatası vermekte ve uygulanan yöntemler içinde en başarılı teknik olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca DV-Hop lokalizasyonu ile EKK lokalizasyonu tespit edilen çapa düğümler ile gerçekleştirilip, lokalizasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Burada da ağdaki düğüm sayısının hem çapa düğüm sayısı hem de lokalizasyon hataları üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Lokalizasyon için aynı düğüm ve çapa düğümler kullanılsa da DV-Hop yönteminin özellikle büyük boyutlu KAA yapılarında artan basamak sayısı bu yöntemi hataya daha açık hale getirmiştir.

Son olarak tez içeriğinde gerçekleştirilen yöntemlere dair yapılan simülasyonlar şu gerçeği ortaya konmuştur: Literatürde çapa düğümü konuşlandırma konusunda ilk defa kullanılmasına rağmen GWO ve PSO algoritmaları başarılı bir şekilde uygulanmıştır. GWO bu başarısını ise hem çapa düğüm sayısı hem de lokalizasyon hatalarında özellikle yine literatürün başarılı algoritmalarından PSO ile mukayesesi ve özellikle yaklaşık çapa düğüm sayısı ile nispeten daha başarılı lokalizasyonlar gerçekleştirerek kanıtlamıştır.

5. ÖNERİLER

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda lokalizasyon için çapa düğüm yerleşimi problemi üzerine önerilen çalışmalar genellikle var olan düğümlerden seçme yöntemlerini içermektedir. Özellikle küçük boyutlu KAA yapılarında topolojinin dar bir alan ve az sayıda düğümden oluşması bu seçme işlemi daha kolay hale getirmektedir. Ayrıca bu seçimler çoğunlukla genel kablosuz haberleşme parametrelerine dayalı olup lokalizasyon temelli olmamaktadır. Dolayısıyla çapa düğüm yerleşimi algoritmalarında topolojiyi dikkate alan ve lokalizasyon temelli çapa düğümü yerleşiminin tüm KAA yapısının lokalizasyon sürecini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Lokalizasyona özgü olabilecek birçok karakteristik bulunmaktadır. Zira bu özelliklerden birini veya bir kısmını çapa düğümü yerleşimi için kullanmak lokalizasyonun verimliliği için önemlidir. Bu tez çalışmasında tanımlanan optimum çapa sayısı çeşitli hususlarla irtibatlı olmaktadır. Nitekim daha önce literatürde değinilmemiş ve lokalizasyonla ilintili parametrelerin bu yerleşim için önemli bir üstünlük sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca metasezgisel optimizasyon tekniklerinin seçim mekanizmasında uygulanan yöntemi daha da iyi bir noktaya getireceği beklenmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda çapa düğümü seçimi için basit seçim algoritmaları kullanılmıştır. Ancak klasik seçim yöntemleri özellikle devamlılık gerektiren iteratif durumlara sahip olmadığı gibi metasezgisel optimizasyon yöntemlerindeki en iyi durum veya elemanın elde edilme hedefi aslında tez çalışmasını destekler niteliktedir.

Teze dair araştırmanın bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir. Uygulanan GWO ve PSO optimizasyonları ile daha az lokalizasyon hatası elde edilmiştir. Ayrıca çalışmamızda olduğu gibi hem GWO hem de PSO çok kriterli karar verme mekanizması açısından uygun yöntemlerdir. Bu anlamdaki ilk öneri söz konusu yöntemin gelecekte yeni tasarlanmış metasezgisel algoritmalar ile gerçekleştirilebilmesi olacaktır. Özellikle sürü veya çoklu canlılar için gerçekleştirilen optimizasyon teknikleri tez içeriğinde uygulanan yöntemi daha verimli veya kullanışlı hale getirebilir.

Bir diğer öneri ise optimizasyon yöntemlerinin çapa düğüm yerleşimi amacıyla entegrasyonudur. Diğer bir deyişle GWO, lokalizasyonda daha verimli çapa düğümü dağıtımını amacıyla hibrit bir algoritma tasarlanıp pratik metasezgisel algoritmaların birbirleriyle entegre edilebilmesidir. Özellikle canlı ve sürü fizyolojileri ve davranışlarının

incelenmesi ile ortaya çıkabilecek yeni metasezgisel optimizasyon türleri çapa düğüm yerleşimi için kullanılabilir. Yukarıda bahsedilen çalışmanın teorisi, büyük lekli KAA'larda başarıyla uygulanmıştır. Öte yandan, farklı parametrelere sahip üç boyutlu KAA'lar için optimal çapa düğümü yerleşimi ilginç bir araştırma sorusudur. Ayrıca, optimal çapa düğümlerini belirlemek için gerçek hayatta KAA'ların konuşlandırılması, araştırmaya değr başka bir konudur.



6. KAYNAKLAR

1. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E., Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks, 38, 4 (2002) 393–422.
2. Matin, M. A., Wireless sensor networks: Technology and protocols, BoD–Books on Demand, 2012.
3. Karl, H. ve Willig, A., Protocols and architectures for wireless sensor networks, John Wiley & Sons, 2007.
4. Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R. ve Anderson, J., Wireless sensor networks for habitat monitoring, 2002, Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, 88–97.
5. Halder, S. ve Ghosal, A., A survey on mobile anchor assisted localization techniques in wireless sensor networks, Wireless Networks, 22, 7 (2016) 2317–2336.
6. Ohbayashi, R., Nakajima, Y., Nishikado, H. ve Takayama, S., Monitoring system for landslide disaster by wireless sensing node network, SICE Annual Conference, 2008, IEEE, 1704–1710.
7. Shah, S. I. A., Fayed, M., Dhodhi, M. ve Mouftah, H. T., Aqua-net: a flexible architectural framework for water management based on wireless sensor networks, 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011, IEEE, 000481–000484.
8. Massa, A., Robol, F., Polo, A., Giarola, E. ve Viani, F., Localization strategies in wsns as applied to landslide monitoring, AGU Fall Meeting Abstracts, volume 2013, NH24A–05.
9. Kirsch, C. ve Röhrig, C., Global localization and position tracking of an automated guided vehicle, IFAC Proceedings Volumes, 2011, 44, 1 14036–14041.
10. Shah, V., Khode, B., Pandey, A. ve Gulghane, A., Review paper on use of trajectory of the vehicle and its applications, 2020.
11. Petrosino, A., Sciddurlo, G., Grieco, G., Shah, A. A., Piro, G., Grieco, L. A. ve Boggia, G., Dynamic management of forwarding rules in a t-sdn architecture with energy and bandwidth constraints, International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless, Springer (2020), 3–15.
12. Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I., Besbes, K. ve Kanoun, O., Energy-efficient routing algorithm based on localization and clustering techniques for agricultural applications, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 34, 3 (2019) 56–66.
13. Carli, M., Panzieri, S. ve Pascucci, F., A joint routing and localization algorithm for emergency scenario, Ad Hoc Networks, 13 (2014) 19–33.

14. Malkani, Y., Keerio, A., Mahar, J., Memon, G. ve Keerio, H., Localization, routing and data gathering in wireless sensor networks (wsns), Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series), (2015) 44, 1.
15. Zazali, A. A., Subramaniam, S. K. ve Zukarnain, Z. A., Flood control distance vector-hop (fcdv-hop) localization in wireless sensor networks, IEEE Access, 8 (2020) 206592–206613.
16. Singh, P. ve Mittal, N., Efficient localisation approach for wsns using hybrid da-fa algorithm, IET Communications, 14, 12 (2020) 1975–1991.
17. Akyildiz, I. F. ve Vuran, M. C., Wireless sensor networks, volume 4, John Wiley & Sons, 2010.
18. Faludi, R., Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing, O'Reilly Media, Inc., 2010.
19. Dyo, V., Ellwood, S. A., Macdonald, D. W., Markham, A., Mascolo, C., Pásztor, B., Scellato, S., Trigoni, N., Wohlers, R. ve Yousef, K., Evolution and sustainability of a wildlife monitoring sensor network, 2010, Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 127–140.
20. Dyo, V., Ellwood, S. A., Macdonald, D. W., Markham, A., Mascolo, C., Pásztor, B., Trigoni, N. ve Wohlers, R., Wildlife and environmental monitoring using rfid and wsn technology, 2009, Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 371–372.
21. Michahelles, F., Matter, P., Schmidt, A. ve Schiele, B., Applying wearable sensors to avalanche rescue, Computers & Graphics, 27, 6 (2003) 839–847.
22. Lorincz, K., Chen, B.-r., Challen, G. W., Chowdhury, A. R., Patel, S., Bonato, P. ve Welsh, M., Mercury: a wearable sensor network platform for high-fidelity motion analysis., SenSys, volume 9 (2009), 183–196.
23. Forsyth, J. B., Martin, T. L., Young-Corbett, D. ve Dorsa, E., Feasibility of intelligent monitoring of construction workers for carbon monoxide poisoning, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 9, 3 (2012) 505–515.
24. Whelan, M. J., Gangone, M. V., Janoyan, K. D. ve Jha, R., Real-time wireless vibration monitoring for operational modal analysis of an integral abutment highway bridge, Engineering Structures, 31, 10 (2009) 2224–2235.
25. Wong, K.-y., Lau, C. ve Flint, A., Planning and implementation of the structural health monitoring system for cable-supported bridges in hong kong, Nondestructive evaluation of highways, utilities, and pipelines IV, volume 3995, International Society for Optics and Photonics (2000), 266–275.
26. Jiang, X., Dawson-Haggerty, S., Dutta, P. ve Culler, D., Design and implementation of a high-fidelity ac metering network, 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2009, IEEE, 253–264.

27. Kappler, C. ve Riegel, G., A real-world, simple wireless sensor network for monitoring electrical energy consumption, European Workshop on wireless Sensor Networks, 2004, Springer, 339–352.
28. Kelly, S. D. T., Suryadevara, N. K. ve Mukhopadhyay, S. C., Towards the implementation of iot for environmental condition monitoring in homes, IEEE Sensors Journal, 13, 10 (2013) 3846–3853.
29. Jiang, X., Van Ly, M., Taneja, J., Dutta, P. ve Culler, D., Experiences with a high-fidelity wireless building energy auditing network, 2009, Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 113–126.
30. Bamis, A., Lymberopoulos, D., Teixeira, T. ve Savvides, A., The behaviorscope framework for enabling ambient assisted living, Personal and Ubiquitous Computing, 14, 6 (2010) 473–487.
31. Cook, D. J., Learning setting-generalized activity models for smart spaces, IEEE Intelligent Systems, 99 (2010) 1.
32. Viani, F., Robol, F., Polo, A., Rocca, P., Oliveri, G. ve Massa, A., Wireless architectures for heterogeneous sensing in smart home applications: Concepts and real implementation, 2013, Proceedings of the IEEE, 101, 11 2381–2396.
33. McEachern, K., Power, P., Dye, L. ve Rudolph, R., Weather and climate monitoring protocol channel islands national park california, US Geological Survey, Reston, VA, USA, Tech Rep (2008) 2–B1.
34. Dutta, P., Grimmer, M., Arora, A., Bibyk, S. ve Culler, D., Design of a wireless sensor network platform for detecting rare, random, and ephemeral events, IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005., IEEE (2005), 497–502.
35. Wolff, J., Heuer, T., Gao, H., Weinmann, M., Voit, S. ve Hartmann, U., Parking monitor system based on magnetic field senso, 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2006, IEEE, 1275–1279.
36. Ceriotti, M., Corrà, M., D’Orazio, L., Doriguzzi, R., Facchin, D., Jesi, G. P., Cigno, R. L., Mottola, L., Murphy, A. L. ve Pescalli, M., Is there light at the ends of the tunnel? wireless sensor networks for adaptive lighting in road tunnels, Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2011, IEEE, 187–198.
37. Werner-Allen, G., Lorincz, K., Johnson, J., Lees, J. ve Welsh, M., Fidelity and yield in a volcano monitoring sensor network, 2006, Proceedings of the 7th symposium on Operating systems design and implementation, 381–396.
38. Persaud, K. C., Pisanelli, A. M., Szyszko, S., Reichl, M., Horner, G., Rakow, W., Keding, H. J. ve Wessels, H., A smart gas sensor for monitoring environmental changes in closed systems: results from the mir space station, Sensors and Actuators B: Chemical, 55, 2-3 (1999) 118–126.

39. Piantanida, M., Veneziani, M., Fresca Fantoni, R., Mickelson, W., Milgrome, O., Sussman, A., Zhou, Q., Ackerman, I. ve Zettl, A., An innovative wireless h2s sensor based on nanotechnology to improve safety in oil & gas facilities, SPE Offshore Europe oil and gas conference and exhibition, 2013, OnePetro.
40. Perera, A., Pardo, A., Barretino, D., Hierlermann, A. ve Marco, S., Evaluation of fish spoilage by means of a single metal oxide sensor under temperature modulation, Sensors and Actuators B: Chemical, 146, 2 (2010) 477–482.
41. Mo, L., He, Y., Liu, Y., Zhao, J., Tang, S.-J., Li, X.-Y. ve Dai, G., Canopy closure estimates with greenorbs: Sustainable sensing in the forest, 2009, Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 99–112.
42. Ahonen, T., Virrankoski, R. ve Elmusrati, M., Greenhouse monitoring with wireless sensor network, 2008 IEEE/ASME International Conference on Mechnronic and Embedded Systems and Applications, 2008, IEEE, 403–408.
43. Han, G., Jiang, J., Zhang, C., Duong, T. Q., Guizani, M. ve Karagiannidis, G. K., A survey on mobile anchor node assisted localization in wireless sensor networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18, 3 (2016) 2220–2243.
44. Günay, F. B., Öztürk, E., Çavdar, T. ve Hanay, Y. S., Vehicular ad hoc network (vanet) localization techniques: a survey, Archives of Computational Methods in Engineering, 28, 4 (2021) 3001–3033.
45. Misra, P. ve Enge, P., Global positioning system: Signals, measurements and performance lincoln, Ganga, 2006.
46. Gentile, C., Alsindi, N., Raulefs, R. ve Teolis, C., Geolocation techniques: principles and applications, Springer Science & Business Media, 2012.
47. Uchiyama, A., Fujii, S., Maeda, K., Umedu, T., Yamaguchi, H. ve Higashino, T., Ad-hoc localization in urban district, IEEE INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications, 2007, IEEE, 2306–2310.
48. Gezici, S., Tian, Z., Giannakis, G. B., Kobayashi, H., Molisch, A. F., Poor, H. V. ve Sahinoglu, Z., Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks, IEEE signal processing magazine, 22, 4 (2005) 70–84.
49. Shen, Y. ve Win, M. Z., Fundamental limits of wideband localization part i: A general framework, IEEE Transactions on Information Theory, 56, 10 (2010) 4956–4980.
50. Dai, W., Shen, Y. ve Win, M. Z., On the minimum number of active anchors for optimal localization, 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012, IEEE, 4951–4956.
51. Du, S., Huang, B., Jia, B. and Li, W., Optimal anchor placement for localization in large-scale wireless sensor networks, 2019 IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 17th International

- Conference on Smart City; IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), IEEE (2019), 2409–2415.
52. Li, L. ve Kunz, T., Cooperative node localization using nonlinear data projection, ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 5, 1 (2009) 1–26.
 53. Shang, Y., Rumi, W., Zhang, Y. ve Fromherz, M., Localization from connectivity in sensor networks, IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems, 15, 11 (2004) 961–974.
 54. Zhu, H., Zhong, X., Yu, Q. ve Wan, Y., A Localization Algorithm For Mobile Wireless Sensor Networks, 2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications, 2013, IEEE, 81–85.
 55. Priyantha, N. B., Balakrishnan, H., Demaine, E. ve Teller, S., Anchor-Free Distributed Localization in Sensor Networks, 2003, Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, 340–341.
 56. Shang, Y., Ruml, W., Zhang, Y. ve Fromherz, M. P., Localization From Mere Connectivity, Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, 2003, 201–212.
 57. Doherty, L., ve El Ghaoui, L., Convex Position Estimation In Wireless Sensor Networks, Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on Computer Communications. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society, 2001, volume 3, IEEE, 1655–1663.
 58. Ihler, A. T., Fisher, J. W., Moses, R. L. ve Willsky, A. S., Nonparametric Belief Propagation For Self-Localization Of Sensor Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 23, 4 (2005) 809–819.
 59. Shang, Y. ve Ruml, W., Improved Mds-Based Localization, IEEE INFOCOM 2004, volume 4, IEEE (2004), 2640–2651.
 60. Savvides, A., Han, C.-C. ve Strivastava, M. B., Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors, Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, 2001, 166–179.
 61. Niculescu, D. ve Nath, B., Dv Based Positioning in Ad Hoc Networks, Telecommunication Systems, 22, 1 (2003) 267–280.
 62. Liu, J., Zhang, Y. ve Zhao, F., Robust Distributed Node Localization With Error Management, Proceedings of the 7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2006, 250–261.
 63. Langendoen, K. ve Reijers, N., Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison, Computer Networks, 43, 4 (2003) 499–518.
 64. Bulusu, N., Heidemann, J. ve Estrin, D., Gps-less low-cost outdoor localization for very small devices, IEEE Personal Communications, 7, 5 (2000) 28–34.

65. Chen, W., Mei, T., Meng, Q., Liang, H., Liu, Y., Zhou, Y. ve Sun, L., A localization algorithm based on discrete imprecision range measurement in wireless sensor networks, 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition, IEEE 2006, 644–648.
66. Bahl, P. ve Padmanabhan, V. N., Radar: An in-building rf-based user location and tracking system, Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on computer communications. Nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, 2000, volume 2, IEEE, 775–784.
67. Yu, H., Chen, X. ve Fan, J., Gauss-newton method based on energy target localization, Computer Engineering and Applications, 43, 27 (2007) 124–126.
68. Wang, Y., Huang, L.-s. ve Xiao, M.-j., Localization algorithm for wireless sensor network based on rssi verification, Journal of Chinese Computer Systems, 30, 1 (2009) 59–62.
69. Parker, R. ve Valaee, S., Vehicular node localization using received-signal-strength indicator, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56, 6 (2007) 3371–3380.
70. Guvenc, I. ve Chong, C.-C., A survey on toa based wireless localization and nlos mitigation techniques, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 11, 3 (2009) 107–124.
71. Gu, Y., Lo, A. ve Niemegeers, I., A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 11, 1 (2009) 13–32.
72. Qi, Y., Kobayashi, H. ve Suda, H., Analysis of wireless geolocation in a non-line-of-sight environment, IEEE Transactions on Wireless Communications, 5, 3 (2006) 672–681.
73. Caffery, J. J., Wireless location in CDMA cellular radio systems, Springer Science & Business Media, 2000.
74. Yao, Q., Tan, S.-K., Ge, Y., Yeo, B.-S. ve Yin, Q., An area localization scheme for large wireless sensor networks, 2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference, volume 5, 2005, IEEE, 2835–2839.
75. Adams, J. C., Gregorwich, W., Capots, L. ve Liccardo, D., Ultra-wideband for navigation and communications, 2001 IEEE Aerospace Conference Proceedings (Cat. No. 01TH8542), 2001, volume 2, IEEE, 2–785.
76. Lee, J.-Y. ve Scholtz, R. A., Ranging in a dense multipath environment using an uwfb radio link, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 20, 9 (2002) 1677–1683.
77. Harikrishnan, R., Kumar, V. J. S. ve Ponmalar, P. S., Firefly algorithm approach for localization in wireless sensor networks, Proceedings of 3rd International Conference on Advanced Computing, 2016, Networking and Informatics, Springer, 209–214.

78. Moreno, L., Armingol, J. M., Garrido, S., De La Escalera, A. ve Salichs, M. A., A genetic algorithm for mobile robot localization using ultrasonic sensors, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 34, 2 (2002) 135–154.
79. Kulkarni, V. R., Desai, V. ve Kulkarni, R. V., Multistage localization in wireless sensor networks using artificial bee colony algorithm, 2016 IEEE symposium series on computational intelligence (SSCI), 2016, IEEE, 1–8.
80. Kulkarni, R. V., Venayagamoorthy, G. K. ve Cheng, M. X., Bio-inspired node localization in wireless sensor networks, 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2009, IEEE, 205–210.
81. Feng, C. ve Zhang, L.-H., A modified shuttled frog leaping algorithm for solving nodes position in wireless sensor network, 2012 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, volume 2, 2012, IEEE, 555–559.
82. Öztürk, C., Karaboga, D. ve Görkemli, B., Artificial bee colony algorithm for dynamic deployment of wireless sensor networks, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 20, 2 (2012) 255–262.
83. Udgata, S. K., Sabat, S. L. ve Mini, S., Sensor deployment in irregular terrain using artificial bee colony algorithm, 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2009, IEEE, 1309–1314.
84. Li, H., Xiong, S., Liu, Y., Kou, J. ve Duan, P., A localization algorithm in wireless sensor networks based on pso, 2011, International Conference in Swarm Intelligence, Springer, 200–206.
85. Singh, S. P. ve Sharma, S., A pso based improved localization algorithm for wireless sensor network, Wireless Personal Communications, 98, 1 (2018) 487–503.
86. Bao, H., Zhang, B., Li, C. ve Yao, Z., Mobile anchor assisted particle swarm optimization (pso) based localization algorithms for wireless sensor networks, Wireless Communications and Mobile Computing, 12, 15 (2012) 1313–1325.
87. Xu, L., Zhang, H. ve Shi, W., Mobile anchor assisted node localization in sensor networks based on particle swarm optimization, 2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010, IEEE, 1–5.
88. Li, W. ve Zhou, W., Genetic algorithm-base localization algorithm for wireless sensor networks (2011), 2096–2099.
89. Huanxiang, J., Yong, W. ve Xiaoling, T., Localization algorithm for mobile anchor node based on genetic algorithm in wireless sensor network, 2010 international conference on intelligent computing and integrated systems, 2010, IEEE, 40–44.
90. Li, Y., Xing, J., Yang, Q. ve Shi, H., Localization research based on improved simulated annealing algorithm in wsn, 2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009, IEEE, 1–4.

91. Gopakumar, A. ve Jacob, L., Localization in wireless sensor networks using particle swarm optimization, 2008 IET International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008, IET, 227–230.
92. Zekavat, R. ve Buehrer, R. M., Handbook of position location: Theory, practice and advances, volume 27, John Wiley & Sons, 2011.
93. Ghassemzadeh, S. S., Greenstein, L. J., Kavcic, A., Sveinsson, T. ve Tarokh, V., An empirical indoor path loss model for ultra-wideband channels, Journal of Communications and Networks, 5, 4 (2003) 303–308.
94. Lim, H., Kung, L.-C., Hou, J. C. ve Luo, H., Zero-configuration, robust indoor localization: Theory and experimentation, Technical report, 2005.
95. Kleisouris, K., Chen, Y., Yang, J. ve Martin, R. P., Empirical evaluation of wireless localization when using multiple antennas, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 21, 11 (2010) 1595–1610.
96. Ermel, E., Fladenmuller, A., Pujolle, G. ve Cotton, A., On selecting nodes to improve estimated positions, IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communication Networks, Springer, 2004, 449–460.
97. Chen, Y., Yang, Q., Yin, J. ve Chai, X., Power-efficient access-point selection for indoor location estimation, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 18, 7 (2006) 877–888.
98. Ahmadi, H., Viani, F. ve Bouallegue, R., An accurate prediction method for moving target localization and tracking in wireless sensor networks, Ad Hoc Networks, 70 (2018) 14–22.
99. Zheng, C., Li, G., Zhang, H. ve Wang, X., An approach of doa estimation using noise subspace weighted ℓ_1 minimization, 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011, IEEE, 2856–2859.
100. Youssef, M. A., Agrawala, A. ve Shankar, A. U., Wlan location determination via clustering and probability distributions, Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)., IEEE, 143–150.
101. Ahmadi, H., Viani, F., Polo, A. ve Bouallegue, R., An improved anchor selection strategy for wireless localization of wsn nodes, 2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), 2016, IEEE, 108–113.
102. Zhang, P. ve Wang, Q., Anchor selection with anchor location uncertainty in wireless sensor network localization, 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011, IEEE, 4172–4175.
103. Chen, X., Chen, J., He, J. ve Lei, B., An improved localization algorithm for wireless sensor network based on the selection of benchmark anchor node, Journal of Networks, 7, 6 (2012) 991.

104. Cho, H., Lee, J., Kim, D. ve Kim, S. W., Observability-based selection criterion for anchor nodes in multiple-cell localization, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 60, 10 (2012) 4554–4561.
105. Robles, J. J., Cardenás-Mansilla, G. ve Lehnert, R., Adaptive selection of anchors in the extended kalman filter tracking algorithm, 2014 11th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), 2014, IEEE, 1–7.
106. Zhang, A., Ye, X. ve Hu, H., Point in triangle testing based trilateration localization algorithm in wireless sensor networks, KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS), 6, 10 (2012) 2567–2586.
107. Ermel, E., Fladenmuller, A., Pujolle, G. ve Cotton, A., Estimation de positions dans des réseaux sans-fil hybrides, CFIP 2003.
108. Chandrasekaran, G., Ergin, M. A., Yang, J., Liu, S., Chen, Y., Gruteser, M. ve Martin, R. P., Empirical evaluation of the limits on localization using signal strength, 2009 6th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2009, IEEE, 1–9.
109. Zaidi, S., El Assaf, A., Affes, S. ve Kandil, N., Accurate range-free localization in multi-hop wireless sensor networks, IEEE Transactions on Communications, 64, 9 (2016) 3886–3900.
110. Salman, N., Maheshwari, H. K., Kemp, A. H. ve Ghogho, M., Effects of anchor placement on mean-crb for localization, 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, 2011, IEEE, 115–118.
111. Lasla, N., Younis, M., Ouadjaout, A. ve Badache, N., On optimal anchor placement for efficient area-based localization in wireless networks, 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2015, IEEE, 3257–3262.
112. Li, X., Shi, H. ve Shang, Y., Selective anchor placement algorithm for ad-hoc wireless sensor networks, 2008 IEEE International Conference on Communications, 2008, IEEE, 2359–2363.
113. Monica, S. ve Ferrari, G., Uwb-based localization in large indoor scenarios: Optimized placement of anchor nodes, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 51, 2 (2015) 987–999.
114. Ash, J. N. ve Moses, R. L., On optimal anchor node placement in sensor localization by optimization of subspace principal angles, 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008, IEEE, 2289–2292.
115. Suwansantisuk, W. ve Lu, H., Localization in the unknown environments and the principle of anchor placement, 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2015, IEEE, 2488–2494.

116. Hara, S. ve Fukumura, T., Determination of the placement of anchor nodes satisfying a required localization accuracy, 2008 IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems, 2008, IEEE, 128–132.
117. Ling, Y., Alexander, S. ve Lau, R., On quantification of anchor placement, 2012 Proceedings IEEE INFOCOM, 2012, IEEE, 2192–2200.
118. Chepuri, S. P., Leus, G. ve van der Veen, A.-J., Sparsity-exploiting anchor placement for localization in sensor networks, 21st European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2013), 2013, IEEE, 1–5.
119. Miao, Q., Huang, B. ve Jia, B., Estimating distances via received signal strength and connectivity in wireless sensor networks, *Wireless Networks*, 26, 2 (2020) 971–982.
120. Törös, I. ve Fazekas, P., Automatic base station deployment algorithm in next generation cellular networks, International Conference on Access Networks, 2010, Springer, 18–31.
121. Houssein, E. H., Saad, M. R., Hussain, K., Zhu, W., Shaban, H. ve Hassaballah, M., Optimal sink node placement in large scale wireless sensor networks based on Harrisâ€™ hawk optimization algorithm, *IEEE Access*, 8 (2020) 19381–19397.
122. Rabaey, C. S. J. ve Langendoen, K., Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks, USENIX technical annual conference (2002), 317–327.
123. Lim, H. ve Hou, J. C., Localization for anisotropic sensor networks, Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies., volume 1, 2005, IEEE , 138–149.
124. Cheng, K.-Y., Lui, K.-S. ve Tam, V., Hybloc: Localization in sensor networks with adverse anchor placement, *Sensors*, 9, 1 (2009) 253–280.
125. Zemek, R., Takashima, M., Hara, S., Yanagihara, K., Fukui, K., Fukunaga, S. ve Kitayama, K.-i., An effect of anchor nodes placement on a target location estimation performance, TENCON 2006-2006 IEEE Region 10 Conference, 2006, IEEE, 1–4.
126. Akl, R., Pasupathy, K. ve Haidar, M., Anchor nodes placement for effective passive localization, 2011 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (ICOST), 2011, IEEE, 127–132.
127. Alippi, C. ve Vanini, G., Wireless sensor networks and radio localization: a metrological analysis of the mica2 received signal strength indicator, 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2004, IEEE, 579–580.
128. Bulusu, N., Heidemann, J. ve Estrin, D., Adaptive beacon placement, Proceedings 21st International Conference on Distributed Computing Systems, 2001, IEEE, 489–498.
129. Rappaport, T. S. vd., *Wireless communications: principles and practice*, volume 2, prentice hall PTR New Jersey, 1996.

130. Ji, Y., Biaz, S., Wu, S. ve Qi, B., Optimal sniffers deployment on wireless indoor localization, 2007 16th International Conference on Computer Communications and Networks, 2007, IEEE, 251–256.
131. Biaz, S., Ji, Y. ve Agrawal, P., Impact of sniffer deployment on indoor localization, 2005 International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 2005, IEEE, 10–pp.
132. Chen, Y., Francisco, J.-A., Trappe, W. ve Martin, R. P., A practical approach to landmark deployment for indoor localization, 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, volume 1, 2006, IEEE, 365–373.
133. Battiti, R., Brunato, M. ve Delai, A., Optimal wireless access point placement for location-dependent services.
134. Gui, L., Zhang, X., Ding, Q., Shu, F. ve Wei, A., Reference anchor selection and global optimized solution for dv-hop localization in wireless sensor networks, Wireless Personal Communications, 96, 4 (2017) 5995–6005.
135. Kumar, S. ve Lobiyal, D., An advanced dv-hop localization algorithm for wireless sensor networks, Wireless Personal Communications, 71, 2 (2013) 1365–1385.
136. Ren, M., Xie, Z., ve Jin, G., Dv-hop localization algorithm based on multi-mobile beacons, Computer Engineering, 40, 10 (2014) 92–97.
137. Gui, L., Val, T., Wei, A. ve Dalce, R., Improvement of range-free localization technology by a novel dv-hop protocol in wireless sensor networks, Ad Hoc Networks, 24 (2015) 55–73.
138. Jian Yin, L., A new distance vector-hop localization algorithm based on half-measure weighted centroid, Mobile Information Systems, 2019.
139. Cheikhrouhou, O., M Bhatti, G. ve Alroobaea, R., A hybrid dv-hop algorithm using rssi for localization in large-scale wireless sensor networks, Sensors, 18, 5 (2018) 1469.
140. Gavrilenko, V., El'tsov, A. Y., Kiryushin, A., Lobanov, S. ve Sadkov, A., Detailed simulation of the physical level in a simulator of wireless sensor networks, Journal of Communications Technology and Electronics, 54, 4 (2009) 446–455.
141. Bensky, A., Wireless positioning technologies and applications, Artech House, Massachusetts, 2016.
142. Camp, T., Boleng, J. ve Davies, V., Mobility models for ad hoc network simulations, Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, 2002, 2, 5 483–502.
143. Radha, S. ve Shanmugavel, S., Mobility models in mobile ad hoc network, IETE journal of Research, 53, 1 (2007) 3–12.

144. Capkun, S., Hamdi, M. ve Hubaux, J.-P., Gps-free positioning in mobile ad hoc networks, Cluster Computing, 5, 2 (2002) 157–167.
145. Ko, Y.-B. ve Vaidya, N. H., Location-aided routing (lar) in mobile ad hoc networks, Wireless Networks, 6, 4 (2000) 307–321.
146. Blazevic, L., Giordano, S. ve Le Boudec, J.-Y., Self-organizing wide-area routing, Technical report, 2000.
147. Graham, R. L., An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set, Info Pro Lett, 1 (1972) 132–133.
148. Shi, L., Zhang, J., Shi, Y., Ding, X. ve Wei, Z., Optimal base station placement for wireless sensor networks with successive interference cancellation, Sensors, 15, 1 (2015) 1676–1690.
149. Parsopoulos, K. E. ve Vrahatis, M. N., Particle swarm optimization and intelligence: advances and applications: advances and applications, IGI global, 2010.
150. Yang, X.-S., Nature-inspired algorithms and applied optimization, volume 744, Springer, 2017.
151. Boyd, S., Boyd, S. P. ve Vandenberghe, L., Convex optimization, Cambridge university press, 2004.
152. Fister Jr, I., Yang, X.-S., Fister, I., Brest, J. ve Fister, D., A brief review of nature-inspired algorithms for optimization, arXiv preprint arXiv:13074186.
153. Yang, X.-S., Nature-inspired optimization algorithms, Academic Press, 2020.
154. Cui, Z., Alex, R., Akerkar, R. ve Yang, X.-S., Recent advances on bioinspired computation, The Scientific World Journal, 2014.
155. McCauley, D. S., Biologically inspired computing algorithms: Relevance and implications for research technologies, Technical report, 2012.
156. Yang, X.-S., Nature-inspired metaheuristic algorithms, Luniver press, 2010.
157. Yang, X.-S., Swarm intelligence based algorithms: a critical analysis, Evolutionary intelligence, 7, 1 (2014) 17–28.
158. Yang, X.-S., Deb, S., Fong, S., He, X. ve Zhao, Y.-X., From swarm intelligence to metaheuristics: nature-inspired optimization algorithms, Computer, 49, 9 (2016) 52–59.
159. Yang, X.-S., Chien, S. F. ve Ting, T. O., Computational intelligence and metaheuristic algorithms with applications, 2014.
160. Lones, M. A., Metaheuristics in nature-inspired algorithms, Proceedings of the Companion Publication of the 2014 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, 2014, 1419–1422.

161. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A., Grey wolf optimizer, Advances in engineering software, 69 (2014) 46–61.
162. Mirjalili, S., Dong, J. S. ve Lewis, A., Nature-inspired optimizers: theories, literature reviews and applications, volume 811, Springer, 2019.
163. Muro, C., Escobedo, R., Spector, L. ve Coppinger, R., Wolf-pack (canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations, Behavioural Processes, 88, 3 (2011) 192–197.
164. Beni, G. ve Wang, J., Swarm intelligence in cellular robotic systems, Robots and biological systems: towards a new bionics?, Springer (1993), 703–712.
165. Sun, J., Lai, C.-H. ve Wu, X.-J., Particle swarm optimisation: classical and quantum perspectives, CRC press, 2016.
166. Kennedy, J. ve Eberhart, R., Particle swarm optimization, Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, volume 4, IEEE (1995), 1942–1948.
167. Angeline, P. J., Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: Philosophy and performance differences, International Conference on Evolutionary Programming, 1998, Springer, 601–610.
168. Marini, F. ve Walczak, B., Particle swarm optimization (pso). a tutorial, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 149 (2015) 153–165.
169. Bai, X., Yun, Z., Xuan, D., Chen, B. ve Zhao, W., Notice of violation of iee publication principles: Optimal multiple-coverage of sensor networks, 2011 Proceedings IEEE INFOCOM, 2011, IEEE, 2498–2506.
170. Sahin, O. ve Akay, B., Comparisons of metaheuristic algorithms and fitness functions on software test data generation, Applied Soft Computing, 49 (2016) 1202–1214.
171. Zhang, X., Fang, J. ve Meng, F., An efficient node localization approach with rssi for randomly deployed wireless sensor networks, Journal of Electrical and Computer Engineering, 2016.
172. Bhatti, G., Machine learning based localization in large-scale wireless sensor networks, Sensors, 18, 12 (2018) 4179.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olup aynı yıl Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine ve Türk Telekom Doğu I Bölge Müdürlüğünde Transmisyon Bölümünde mühendis olarak çalışma hayatına başladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Bilgisayar mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2015 yılında ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği alanlarında yüksek lisans derecelerini aldı. Doktora tez sürecinde 4'ü SCI / SCI-Expanded indeksli dergilerde, 7'si uluslararası konferanslarda ve 2'si ulusal konferansta olmak üzere toplam 13 yayın yaptı.

SCI / SCI-Expanded İndeksli Dergi Yayınları

Çavdar, T., Günay, F. B., Ebrahimpour, N., ve Kakız, M. T., An Optimal Anchor Placement Method for Localization in Large-Scale Wireless Sensor Networks. *Intelligent Automation and Soft Computing*, (2022) 31(2), 1197–1222.

Günay, F. B., Öztürk, E., Çavdar, T., ve Hanay, Y. S., Vehicular ad hoc network (VANET) localization techniques: a survey. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(4), (2021) 3001-3033.

Çavdar, T., Kakız, M. T., Günay, F. B., ve Ebrahimpour, N., SERDP: Signature-based and energy-efficient relay discovery protocol for Internet of Things in cellular networks. *International Journal of Communication Systems*, 34(12), (2021) e4898.

Bozkurt, F., Çoban, Ö., Günay, F. B. ve Yücel Altay, Ş., High Performance Twitter Sentiment Analysis Using CUDA Based Distance Kernel on GPUs. *Tehnički vjesnik*, 26(5), (2019) 1218-1227.

Uluslararası Konferans Yayınları

Öztürk, E., Günay, F. B. , ve Çavdar, T., (2017). *Optimization of the Traffic Lights Based on Density of Vehicles*. 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS17) (pp.2044-2048). Elazığ, Türkiye

Günay, F. B. , Öztürk, E., ve Çavdar, T., (2018). *Designing an IOT Based System for Indoor Detection and Mapping of Harmful Gases*. International Artvin Symposium'18 (IAS'18), Artvin, Türkiye

Günay, F. B. , Öztürk, E., ve Çavdar, T., (2017). *Designing Moving Leds to Save Energy Using Wireless Sensor Networks*. 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS17) (pp.2198-2201). Elazığ, Türkiye

Öztürk, E., Günay, F. B. , Ulu, A., ve Çavdar, T., (2018). *Optimization of the Sensor Nodes in IoT via Simulated Annealing and Genetic Algorithms*. International Artvin Symposium'18 (IAS'18), Artvin, Türkiye

Günay, F. B. , Kakız, M. T. , & Çavdar, T., (2017). *Designing an Early Warning System for Avalanches Using Wireless Sensor Networks* . 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS17) (pp.2193-2197). Elazığ, Turkey

Yücel Altay, Ş., Bozkurt, F., ve Günay, F. B. , (2019). *Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnternetinin Kullanımı ve Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme*. Mas 5. Uluslararası Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Erzurum, Türkiye

Bozkurt, F., Günay, F. B. , ve Çoban, Ö., (2016). *Investigating Performance of ANFIS based equalization on Non-linear and Different Channel Models*. International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP'16 (pp.227-233). Malatya, Türkiye

Ulusal Konferans Yayınları

Sadreddını, Z., Aydoğdu, Ö., avdar, T., ve Gunay, F. B. , (2018). *Lisanslı Paylaşımli Erişime Dayalı İkincil Kullanıcı Faaliyetinin Bilişsel Radyo Ağlarında Performans Analizi* . Elektrik-Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendislikleri Bilimsel Toplantısı (EBBT'2018), İstanbul, Türkiye

Gunay, F. B., ve avdar, T. Kablosuz Algılayıcı Ağlarla Muze Ziyaretisi Lokalizasyon Modeli, YBS 2015, Erzurum, Türkiye

