MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ ALGILAYICI DÜĞÜM DAĞITIMININ EVRİMSEL ALGORİTMA TABANLI OPTİMİZASYONU

SİBEL BİRTANE AKAR

DOKTORA PROGRAMI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Doktora Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

EŞ-DANIŞMAN

Prof. Dr. Özgür Koray ŞAHİNGÖZ

İSTANBUL, 2024



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KABLOSUZ ALGILAYICI DÜĞÜM DAĞITIMININ EVRİMSEL ALGORİTMA TABANLI OPTİMİZASYONU

SİBEL BİRTANE AKAR

(723616830)

DOKTORA PROGRAMI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Doktora Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

EŞ-DANIŞMAN

Prof. Dr. Özgür Koray ŞAHİNGÖZ

İSTANBUL, 2024

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı hazırlama aşamasında bana her konuda yardımcı olan, her soruma sabırla yanıt veren ve tez çalışmasının eksik yönlerinin ortaya çıkarılması ve giderilmesi kapsamında değerli katkılarda bulunan tez danışmanım Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ ve eş-danışmanım Prof. Dr. Özgür Koray ŞAHİNGÖZ başta olmak üzere, çalışmam süresince fedakârlıklarıyla her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilir, sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışması, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FEN-C-DRP-110718-0406 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Marmara Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Temmuz, 2024 **Sibel BİRTANE AKAR**

İÇİNDEKİLER

		SAYFA
ÖZET		**vi**
ABSTRACT		**viii**
YENİLİK BEYANI		**x**
KISALTMALAR		**xii**
ŞEKİL LİSTESİ		**xvi**
TABLO LİSTESİ		**xvii**
1 GİRİŞ		**1**
1.1	Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi	3
1.2	Benzer Çalışmalar	4
1.3	Tez Organizasyonu	11
2 GENEL BİLGİLER		**12**
2.1	Kablosuz Algılayıcı Ağlar	12
2.1.1	Algılayıcı Düğüm	13
2.1.2	Kapsama Alanı	13
2.1.3	Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Amaç Fonksiyonları	15
2.2	Kablosuz Algılayıcı Ağ Tasarımı ve Uygulama Stratejileri	18
2.2.1	KAA Çeşitleri	19
2.2.2	Algılama Modelleri	22
2.2.3	Merkezi ve Dağıtık Yaklaşımlar	24
2.2.4	Hedef Alan Modelleme	25
2.2.5	Değişken Çevre Koşulları	26
2.3	Düğüm Dağıtım Metodolojileri	26
2.3.1	Dağıtım Stratejisine Göre Dağıtım Yöntemleri	27
2.3.2	Kullanım Amacına Göre Dağıtım Yöntemleri	30
2.3.3	Uygulama Alanına Göre Dağıtım Yöntemleri	32
2.4	Optimizasyon Yöntemleri	32
2.4.1	Metasezgisel Algoritmalar	33
2.4.2	Evrimsel Algoritmalar	34
2.4.3	Genetik Algoritma	34
3 ÖNERİLEN YÖNTEMLER		**44**
3.1	Kapsama Alanının Hesaplanması	45
3.1.1	Görüntü İşleme Yöntemi	46
3.1.2	Nokta Sayma Yöntemi	46
3.2	Titreşimsel Genetik Algoritma Yaklaşımı	48
3.2.1	Kromozom Tasarımı	49

3.2.2 Başlangıç Popülasyonu 50
3.2.3 Uygunluk Fonksiyonu 50
3.2.4 Ebeveyn Seçimi 52
3.2.5 Çaprazlama İşlemi 52
3.2.6 Mutasyon İşlemi 55
3.2.7 Titreşimsel Mutasyon İşlemi 56
3.2.8 Elitizm 57
3.2.9 Sonlandırma Kriteri 57

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR 59

4.1 Kapsama Alanı Hesaplama Yöntemleri ve Parametre Seçimi 59
4.1.1 Görüntü İşleme Tekniği ile Elde Edilen Sonuçlar 60
4.1.2 Nokta Sayma Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlar 63

4.2 KAA Düğüm Dağıtım Senaryoları ve Sonuçları 71
4.2.1 Düzgün Alanda Düğüm Dağıtımı 71
4.2.2 Düzgün Olmayan Gerçek Haritalar Üzerinde Düğüm Dağıtımı 80

5 SONUÇLAR 86

5.1 Gelecek Çalışmalar 91

ÖZGEÇMİŞ 100

ÖZET

KABLOSUZ ALGILAYICI DÜĞÜM DAĞITIMININ EVRİMSEL ALGORİTMA TABANLI OPTİMİZASYONU

Son yıllarda Kablosuz Algılayıcı Ağlarının yeteneklerini artırmak amacıyla iletişim protokolleri, enerji verimliliği, optimal dağıtım, veri analitiği ve Nesnelerin İnterneti gibi yeni teknolojilerle entegrasyon üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır. Algılayıcı düğümlerin doğru bir şekilde dağıtılması, sistemlerin etkinliğini, ölçeklenebilirliğini ve kapasitesini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu dağıtım süreci aynı zamanda Kablosuz Algılayıcı Ağlarının maliyetini düşürmekte, performansını artırmakta ve güvenliği sağlamaktadır. Düğüm yerleştirme/dağıtım işleminde, algılayıcı düğümler arası bağlantısallık korunurken bir taraftan maksimum kapsama alanı sağlanmaya çalışılırken, diğer taraftanda da düğüm sayısının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak düğümlerin etkili bir şekilde yerleştirilmesi konusunda bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bu zorluklar arasında çevresel engeller, enerji kısıtlamaları, düğüm sayısı ve kapsama alanının optimizasyonu ile dinamik ağ koşulları bulunmaktadır.

Bu çalışma, Kablosuz Algılayıcı Ağlarda algılayıcı düğümlerin etkili yerleştirilmesinin önemini vurgulamakta ve genetik algoritma tabanlı bir çözüm önermektedir. Literatürde genellikle iki boyutlu kare veya dikdörtgen şeklinde düzgün hedef alanlarda düğüm dağıtımı üzerine çalışmalar yapıldığı gözlemlenmektedir. Ancak bu yaklaşım, gerçek uygulama koşullarından oldukça uzak olup, gerçek hayatı yeterince temsil edememektedir. Bu sebeple, bu çalışmada hem düzgün alanlarda hem de gerçek dünya problemlerine uygun koşulları simüle etmek amacıyla düzgün sınırları olmayan gerçek haritalar üzerinde, homojen ve heterojen özelliğe sahip düğümler rastgele dağıtılmıştır. Daha sonra, bu düğümler Genetik Algoritma ve Titreşimsel Genetik Algoritma kullanılarak kapsama alanı optimize edecek şekilde yeniden konumlandırılmıştır.

Kapsama alanı hesabında deterministik yöntemle ideal duruma göre dağıtılmış (yani hiçbir algılayıcı diğerinin kapsadığı alanı kapsamamaktadır) düğümlerin kapsadığı alan

geometrik formüller kullanılarak ve görüntü işleme teknikleri ile hesaplanmıştır. Daha sonra benzer koşullarda alan hesabı için nokta sayma yöntemi önerilmiş ve bu yöntem kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen hata değerleri, ideal değer ve görüntü işleme yöntemi ile hesaplanan kapsama alanı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nokta sayma yönteminin görüntü işlemeye kıyasla daha hızlı ve doğruluğu daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Kapsama alanı hesaplamaları için, deterministik yöntemle ideal düzende dağıtılmış (yani hiçbir algılayıcının diğerinin kapsadığı alanı kapsamadığı durumlarda) düğümlerin kapsadığı alan geometrik formüller kullanılarak ve görüntü işleme teknikleri ile hesaplanmıştır. Daha sonra benzer koşullarda alan hesabı için nokta sayma yöntemi önerilmiş ve bu yöntem kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen hata değerleri, ideal değer ve görüntü işleme yöntemi ile hesaplanan kapsama alanı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre nokta sayma yöntemi görüntü işlemeye kıyasla daha hızlı ve doğruluğu daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Elde edilen bulgular, Titreşimsel Genetik Algoritma'nın Genetik Algoritma'ya kıyasla dağıtım optimizasyonunda daha etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir. Titreşimsel Genetik Algoritma'nın yerel minimumlardan kaçınması ve en optimum değere ulaşma yeteneği sayesinde ilgili problem alanı için daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca heterojen düğümlerin özellikle gerçek hayat uygulamalarına daha yakın koşullar oluşturan düzgün olmayan sınırlara sahip haritalar üzerinde yapılan dağıtım senaryolarında, homojen düğümlere kıyasla daha iyi uyum ve esneklik sağladığı gözlemlenmiştir. Bu durum heterojen düğümlerin farklı batarya gücü, enerji tüketimi ve algılama kapasiteleri sayesinde, karmaşık ve dinamik ortamlarda daha etkili performans göstermeleri ile ilişkilendirilebileceği görülmektedir.

Bu çalışma, Kablosuz Algılayıcı Ağlarda düğüm yerleşiminin optimizasyonu için yeni yaklaşımlar sunmakta, daha verimli ve etkili ağlar oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Gelecekte bu yöntemlerin daha da geliştirilmesi ve farklı uygulama alanlarında test edilmesi, Kablosuz Algılayıcı Ağların performansını ve uygulanabilirliğini artırabileceği değerlendirilmektedir.

ABSTRACT

EVOLUTIONARY ALGORITHM-BASED OPTIMIZATION OF WIRELESS SENSOR NODE DEPLOYMENT

In recent years, significant studies have been carried out on integration with new technologies such as communication protocols, energy efficiency, optimal distribution, data analytics and the Internet of Things to increase the capabilities of Wireless Sensor Networks. Proper deployment of sensor nodes can significantly increase the efficiency, scalability and capacity of the systems. This placement process also reduces costs, increases performance and ensures security. The node placement/deployment process aims to minimize the number of nodes while maintaining connectivity between sensor nodes and maximizing coverage. However, there are some challenges in effectively placing nodes. These challenges include environmental obstacles, energy constraints, optimization of the number of nodes and coverage area, and dynamic network conditions.

This thesis emphasizes the importance of efficient placement of sensor nodes in Wireless Sensor Networks and proposes a genetic algorithm-based solution. The literature generally shows that studies on node deployment in two-dimensional square or rectangular-shaped target areas have been conducted. However, this approach is far from real application conditions and cannot adequately represent real life. Therefore, in this study, nodes with homogeneous and heterogeneous characteristics are randomly distributed on both regular-shaped and real maps with irregular-shaped target areas to simulate real-life conditions. Then, these nodes are repositioned to optimize the coverage area using Genetic Algorithm and Vibrational Genetic Algorithm.

In calculating the coverage area, the area covered by the nodes distributed according to the ideal situation (i.e. no sensor covers the area covered by the other) with the deterministic method was calculated using geometric formulas and image processing techniques. Subsequently, for area calculation under similar conditions, a point counting method was proposed, and the error values obtained from the calculations using this method were compared with the ideal values and the coverage area results calculated by the image

processing method. The results obtained showed that the point-counting method provided faster and more accurate results compared to image processing.

The findings have shown that the Vibrational Genetic Algorithm provides more effective results in node deployment optimization compared to the Genetic Algorithm. It has been determined that the Vibrational Genetic Algorithm performs better for the relevant problem area, thanks to its ability to avoid local minima and reach the most optimum value. In addition, it has been observed that heterogeneous nodes provide better adaptation and flexibility compared to homogeneous nodes, especially in node deployment scenarios on maps with irregularly shaped areas that create conditions closer to real-life applications This situation can be attributed to the fact that heterogeneous nodes perform more effectively in complex and dynamic environments, thanks to their different battery power, energy consumption, and sensing capacities.

This study presents new approaches for optimizing node deployment in Wireless Sensor Networks and contributes to creating more efficient and effective networks. It is evaluated that in the future, further development of these methods and testing in different application areas can increase the performance and applicability of Wireless Sensor Networks.

YENİLİK BEYANI

KABLOSUZ ALGILAYICI DÜĞÜM DAĞITIMININ EVRİMSEL ALGORİTMA TABANLI OPTİMİZASYONU

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), günümüzde çevresel izleme, sağlık, güvenlik, endüstriyel otomasyon ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi pek çok uygulamada kritik öneme sahip teknolojik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için etkin düğüm dağıtımı, kapsama alanı optimizayonu ve enerji verimliliği gibi konular büyük önem taşımaktadır. Bu doktora tez çalışması, KAA'ların düğüm dağıtımında genetik algoritma tabanlı yaklaşımlar ile kapsama alanının artırılmasını amaçlamaktadır.

Kapsama alanının hesaplanması karmaşık bir problemdir. Çok sayıda düğümün dağıtılması, alanın düzgün olmaması, heterojen düğümlerin kullanımı ve harici etmenler dikkate alındığında bu hesaplamanın karmaşıklığı daha da artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı geleneksel yaklaşımlar ve matematiksel formüller bu hesaplamada yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada düğüm dağıtımı sonrası kapsama alanının hesaplanması için yeni bir yaklaşım olan "Nokta Sayma Yöntemi" önerilmiştir. Bu yöntem görüntü işleme tekniklerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve daha hızlı hesaplama imkanı sunarak matematiksel formüllere dayalı yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır.

Çalışmanın etkinliğini göstermek amacıyla homojen ve heterojen düğümler kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar heterojen düğüm dağıtımının kapsama alanı optimizasyonunda daha etkin çözümler sunduğunu ortaya koymuştur. Farklı batarya gücü, enerji tüketimi ve algılama kapasitesine sahip heterojen düğümlerin, düzgün olmayan ve dinamik çevre koşullarına sahip alanlarda homojen düğümlere kıyasla daha üstün performans sergilediği görülmüştür. Heterojen düğümler daha esnek ve uyumlu çözümler sunarak KAA performansını artırmaktadır.

Ayrıca bu tez çalışmasında, kapsama alanının artırılmasında kullanılan Genetik Algoritma (GA) yeniden düzenlenmiş ve "Titreşimsel Genetik Algoritma (TGA)" adı verilen bir optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım GA'nın çözüm alanındaki çeşitliliğini artırarak yerel aramada iyileştirme sağlamaktadır. TGA, yerel minimumlardan kaçınarak daha optimum sonuçlara ulaşmayı başarmaktadır. Deneysel sonuçlar, TGA'nın, geleneksel GA'ya göre kapsama alanında %2'lik bir artış sağladığını göstermektedir.

Bu tezde literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak, gerçek dünya problemlerine en yakın senaryolar oluşturularak düzgün olmayan sınırlara ve dinamik çevre koşullarına sahip gerçek haritalar üzerinde düğüm dağıtımı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar idealize edilmiş iki boyutlu kare veya dikdörtgen alanlara kıyasla daha geçerli ve güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu sayede KAA'nın uygulama alanlarında daha etkili ve verimli performans göstermesi mümkün hale gelmektedir. Ayrıca kapsama alanı hesaplamalarında kullanılan özgün "Nokta Sayma Yöntemi" ve düğüm dağıtımı optimizasyonunda önerilen "TGA", KAA'ların enerji verimliliği ve performansını artıran önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışmanın özgün katkıları, hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara önemli yenilikler getirmektedir.

Temmuz, 2024 **Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ** **Sibel BİRTANE AKAR**

SEMBOLLER

(x, y)	2 Boyutlu Koordinatlar
α	Alfa
ε	Epsilon
Cr_i	i. Düğümün Kapsama Alanı
D	Mesafe
O	Nesne
P	Nokta
r_c	Düğümün İletişim Aralığı
r_s	Düğümün Algılama Aralığı
S	Algılayıcı Düğüm

KISALTMALAR

2B İki boyutlu

3B Üç boyutlu

ABC Yapay Arı Kolonisi Algoritması

ACO Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Ant-Lion Karınca Aslanı Optimizasyon Algoritması

CFPA Kaotik Çiçek Tozlaşma Optimizasyonu

CO Çita Optimizasyonu

CSMA Taşıyıcı Algılama Çoklu Erişim Protokolü

DARPA İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı

E-FOA Enerji İyileştirilmiş Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması

FOA Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması

FPA Çiçek Tozlaşma Algoritması

GA Genetik Algoritma

GKA Geometrik Formülle Hesaplanmış Kapsama Alanı

GSA Yerçekimi Arama Algoritması

GWOVF Gri Kurt Optimizasyonu ve Sanal Kuvvet Algoritması

IDDT-GA Genetik Algoritmaya Dayalı Geliştirilmiş Dinamik Dağıtım Tekniği

IGWO Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyonu

ILP Tamsayılı Doğrusal Programlama

IMPKA Görüntü İşleme Yöntemi ile Hesaplanmış Kapsama Alanı

IoT Nesnelerin İnterneti

IWHO Geliştirilmiş Vahşi At Optimizasyonu

İHA İnsansız Hava Aracı

KAA Kablosuz Algılayıcı Ağ

MIGA Değiştirilmiş İyileştirilmiş Genetik Algoritma

MuGWO Mutant Gri Kurt Optimizasyonu

NKA Nokta Sayma Yöntemi ile Hesaplanmış Kapsama Alanı

OPTHGA Optimal Hibrit Genetik Algoritma

PSO Parçacık Sürü Optimizasyonu

px Piksel

SA Benzetimli Tavlama

SensIT Algılayıcı Bilgi Teknolojisi

sn saniye

TDMA Zaman Paylaşımlı Çoklu Erişim Protokolü

TGA Titreşimsel Genetik Algoritma

WOA Balina Optimizasyonu Algoritması

Yin-YangPIO Yin-Yang Güvercini Optimizasyon Algoritması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Kablosuz Algılayıcı Ağ 12
Şekil 2.2 : Düğümlerin Algılama ve İletişim Aralıkları 14
Şekil 2.3 : Homojen ve Heterojen KAA'lar 20
Şekil 2.4 : Kablosuz Veri İletiminde Düğüm Çeşitleri a) Tek Yönlü b) Çok Yönlü 21
Şekil 2.5 : Kapsama Alanı Boyutuna Göre Ağ Çeşitleri a)2B b)3B 22
Şekil 2.6 : Algılama Modelleri (a) Boolean Disk (b) Elfes (c) Gölge Sönümlemesi 23
Şekil 2.7 : Düğüm Dağıtım Yöntemlerinin Sınıflandırması 27
Şekil 2.8 : Deterministik Düğüm Dağıtımı 28
Şekil 2.9 : Rastgele Düğüm Dağıtımı 29
Şekil 2.10: Izgara Tabanlı Düğüm Dağıtımı 30
Şekil 2.11: Alan Kapsaması 31
Şekil 2.12: Bariyer Kapsaması 31
Şekil 2.13: Hedef Kapsaması 32
Şekil 2.14: GA Akış Diyagramı 35

Şekil 3.1 : Bir S düğümünün $D(P, S)$ mesafedeki bir P noktasını kapsama durumu 47
Şekil 3.2 : TGA Akış Diyagramı 48
Şekil 3.3 : Homojen KAA Kromozom Yapısı 49
Şekil 3.4 : Heterojen KAA Kromozom Yapısı 50
Şekil 3.5 : Popülasyon Büyüklüğünün Kapsama Oranına Etkisi 51
Şekil 3.6 : BLX-α Operatörü 53
Şekil 3.7 : Çaprazlama Oranının Kapsama Oranına Etkisi 55
Şekil 3.8 : İterasyon Sayısı ile Kapsama Oranının İlişkisi 58

Şekil 4.1 : Deterministik Yöntem ile İdeal Düğüm Dağıtımı 60
Şekil 4.2 : IMPKA Hesabında Düğüm Algılama Aralığının Hata Üzerindeki Etkisi 62
Şekil 4.3 : Oluşturulan 18 farklı senaryonun hesaplama süresinin değişimi 63
Şekil 4.4 : Nokta Sayma Yöntemi için Oluşturulan Tüm Durumlara Göre Kapsama Alanı Hata(%) Değişimi 66
Şekil 4.5 : Kapsama Alanı Hesabı Yöntemlerinin Başarımlarının Karşılaştırması 68
Şekil 4.6 : Nokta Sayma Yöntemi ile Kapsama Alanı Hesabında, Atılan Nokta ve Dağıtılan Düğüm Sayısına Göre Hesaplama Süresinin Değişimi 70
Şekil 4.7 : Rastgele Dağıtım Sonrası Homojen Düğümlerin Konumları 72
Şekil 4.8 : GA Sonrası, (a)Homojen Düğüm Konumları, (b)İterasyon Grafiği 73
Şekil 4.9 : TGA Sonrası, (a) Homojen Düğüm Konumları, (b) İterasyon Grafiği 74
Şekil 4.10 : Homojen Düğümlerin Dağıtımı, (a) Rastgele, (b) GA, (c) TGA, (d) İterasyon Grafiği 75
Şekil 4.11: Rastgele Dağıtım Sonrası Heterojen Düğümlerin Konumları 77
Şekil 4.12: GA Sonrası, (a)Heterojen Düğüm konumları, (b)İterasyon Grafiği 77
Şekil 4.13: TGA Sonrası, (a)Heterojen Düğüm konumları, (b)İterasyon Grafiği 78
Şekil 4.14: Heterojen Düğümlerin Dağıtımı, (a)Rastgele, (b)GA, (c)TGA, (d)İterasyon Grafiği 79

Şekil 4.15 : Gerçek Harita-1 Düğüm Dağıtımı, (a) Kampüs Haritası (b) Rastgele, (c) GA, (d) TGA 83
Şekil 4.16 : Gerçek Harita-2 Düğüm Dağıtımı, (a) Kampüs Haritası (b) Rastgele, (c) GA, (d) TGA 85

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Evrimsel Algoritmaları Kullanan Benzer Çalışmalar 10

Tablo 2.1: Algılama Modellerinin Karşılaştırılması 24

Tablo 3.1: Çaprazlama Oranı Test Parametreleri 54
Tablo 3.2: Çaprazlama Oranın Etkisine İlişkin Test Sonuçları 54

Tablo 4.1: Deneylerin Gerçekleştirildiği Donanım Özellikleri 59
Tablo 4.2: Düğüm Dağıtım Parametreleri 60
Tablo 4.3: Kapsama Alanı hesabında GKA ile IMPKA Sonuçlarının Karşılaştırılması 61
Tablo 4.4: Test Parametreleri 64
Tablo 4.5: Kapsama Alanı Hesabında Nokta Sayma Yöntemine Ait Deney Sonuçları 65
Tablo 4.6: 100x100px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri 67
Tablo 4.7: 500x500px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri 67
Tablo 4.8: 1000x1000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri 67
Tablo 4.9: 2000x2000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri 67
Tablo 4.10 5000x5000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri 67
Tablo 4.11 Alan Büyüklüklerine Göre Ortalama Hata Değerleri 68
Tablo 4.12 Kullanılan Yöntemlerin Kapsama Alanı Hesaplama Başarımları 69
Tablo 4.13 Hata ve Hesaplama Sürelerinin Değerlendirilmesi 71
Tablo 4.14 Problem Senaryoları 71
Tablo 4.15 Homojen Düğüm Dağıtım Parametreleri (Senaryo-1) 72
Tablo 4.16 GA Parametreleri 73
Tablo 4.17 Senaryo-1'e göre Homojen Düğümlerin Dağıtım Sonuçları 74
Tablo 4.18 Senaryo-2'ye Göre Homojen Düğümlerin Dağıtım Sonuçları 76
Tablo 4.19 Heterojen Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-3) 76
Tablo 4.20 Senaryo-3'e Göre Heterojen Düğüm Dağıtım Sonuçları 78
Tablo 4.21 Heterojen Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-4) 79
Tablo 4.22 Senaryo-4'e Göre Heterojen Düğüm Dağıtım Sonuçları 80
Tablo 4.23 Gerçek Harita-1 Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-5) 82
Tablo 4.24 Gerçek Harita-2 Düğüm Dağıtım Parametreler(Senaryo-6) 84

1. GİRİŞ

Son yıllarda, KAA'lar çeşitli uygulama alanlarında önemli bir teknoloji haline gelmiştir. Bu ağlar çevresel izleme, sağlık hizmetleri, akıllı şehirler ve askeri izleme gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Küçük hareketli algılayıcılardan oluşan KAA'lar, düşük güç tüketimine sahip ve birbirleriyle kablosuz olarak iletişim kurabilen çok sayıda kablosuz algılayıcının konuşlandırıldığı fiziksel veya çevresel koşulları izlemek için kullanılan bir ağ yapısı olarak tanımlanır. Kablosuz iletişim ve mikro-elektromekanik sistemlerdeki hızlı gelişmeler nedeniyle bu ağlar, giderek önemi artan ve yaygın kullanım alanına sahip bir konu haline gelmiştir [1, 2].

KAA'ların artan önemi; endüstriyel otomasyon, çevresel izleme ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli uygulamalarda sağladıkları faydalardan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel otomasyonda, süreçlerin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrolünü sağlayarak verimlilik ve güvenliği artırır; kestirimci bakımda, arızaları tahmin edip önleyerek arıza süresini ve bakım maliyetlerini azaltmaya yardımcı olurlar. Çevresel izleme, sıcaklık, nem ve kirlilik seviyelerini takip ederek iklim araştırmaları, yaban hayatı koruma ve afet yönetimi için önemli verilerin toplanmasında da fayda sağlarlar. Tarımda, toprak nemi ve mahsul sağlığını izleme uygulamalarında kaynak kullanımını optimize eder ve verimi artırırlar. Sağlıkta, giyilebilir cihazlar ile hasta izleme ve anomali tespitini de mümkün kılmaktadırlar. Ayrıca akıllı şehir uygulamalarında altyapı yönetimi, akıllı trafik sistemleri, enerji tasarruflu aydınlatma ve kamu güvenliği gibi birçok uygulamada kullanılırlar [1–4].

Ayrıca KAA'lar IoT ekosisteminin önemli bir parçasıdır ve enerji verimliliği ve ölçeklenebilir yapılarıyla IoT'nin etkinliğini artırırlar. IoT, algılayıcılar, yazılım ve eyleyiciler gibi teknolojilerle donatılmış cihazların internet üzerinden iletişim kurmasını sağlayarak veri toplama ve analiz süreçlerini otomatikleştirirler [3, 5].

Günümüz teknolojik gelişmelerine ve ihtiyaçlarına uyum sağlamak üzere geliştirilen ve kullanılan modern KAA'lar, geleneksel KAA'ların temel özelliklerine ek olarak, daha güçlü iletişim protokolleri, enerji verimliliğine sahip donanım bileşenleri, daha yüksek veri aktarım hızları, daha iyi güvenlik önlemleri ve daha fazla ölçeklenebilirlik gibi özelliklere sahiptir. Ancak KAA'ların farklı alanlardaki bu yaygın kullanımında başarı, algılayıcı düğümlerinin etkin şekilde konumlandırılmasına bağlıdır. KAA'ların doğası gereği kullanıldıkları sarp ve ulaşımı zor yerlerde özellikle rastgele dağıtım modeli benimsendiğinde enerji verimliliği, iletişim, topoloji yönetimi gibi önemli zorluklarla karşılaşılabilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için yapay zekâ, büyük veri analitiği ve bulut bilişim teknolojileri entegre edilerek daha verimli sistemlerin oluşturulması gerekmektedir.

Bu tez çalışması, KAA'ların karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmek için evrimsel algoritmaların kullanımının önemini vurgulamaktadır. Evrimsel algoritmalar, doğal seçilim ilkesine dayanan ve en uygun çözümleri iteratif bir süreçle arayan algoritmalardır. Bu algoritmalar, genetik çeşitliliği ve nesiller arası en iyi özelliklerin aktarımını simüle ederek, karmaşık problemlerin çözümünde geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili sonuçlar elde etmeyi mümkün kılar. Çalışma kapsamında geliştirilen evrimsel algoritma tabanlı yaklaşım, bu avantajları kullanarak özellikle önceden bilinmeyen veya dinamik ortamlarda algılayıcı düğümlerinin etkin konumlandırılmasına odaklanmış ve bu sayede kapsama alanı verimliliğinin artırılmasını amaçlamıştır. Evrimsel algoritmaların geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek sunduğu avantajlar, bu tez çalışmasının önemini vurgulamakta ve bu alandaki gelişmelere önemli katkılar sunmaktadır [6].

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Gelişen teknolojiyle birlikte KAA'ların artan önemi, onları çeşitli uygulamalarda veri toplama ve aktarımının kritik bir bileşeni haline getirmiştir. Bununla birlikte algılayıcı düğümlerinin konumlandırılmasında, özellikle rastgele bir dağıtım modeli tercih edildiğinde bazı kritik zorluklar ile karşılaşılmaktadır:

Rastgele dağıtım modeli, artan esneklik gibi belirli faydalar sunarken, aynı zamanda düğümlerin öngörülemeyen dağılımı nedeniyle oluşan kapsama boşluklarına veya düğümlerin üst üste çakışması sonucu gereğinden fazla sayıda düğümün aynı konumu kapsamasına neden olabilmektedir. Ayrıca çevresel faktörler, özellikle arazinin yapısı, bitki örtüsü ve bölgedeki engeller, algılayıcı düğümlerinin bağlantısını ve kapsama alanını etkileme potansiyeline sahiptir. Yoğun ormanlar, tepeler veya binalar gibi engeller düğümler arasındaki görüş hattını kapatarak onları zayıflatabilir veya iletişimlerini tamamen kaybetmelerine neden olabilir. Bu olumsuzluklar algılayıcı düğümlerin optimum kapsama alanını ve güvenilir iletişimini engelleyerek KAA'ların etkinliğini azaltabilir. Bu bağlamda, bu tez çalışması algılayıcı düğümlerin konuşlandırılmasına ve bu olumsuzlukların üstesinden gelmek için spesifik kapsama optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesine odaklanmıştır. Evrimsel algoritma tabanlı bu yaklaşım özellikle belirsiz ve dinamik ortamlarda etkili dağıtım için potansiyel bir çözüm sunmaktadır.

Genel olarak özetlenecek olursa çalışmanın amacı, algılayıcı düğümü konuşlandırma sorunları hakkında kapsamlı bir anlayış kazandırmak ve bu alanda uygulanabilir yeni optimizasyon tekniklerini araştırmaktır. Bunu başarmak için bu çalışmada aşağıdaki araştırma sorularına odaklanılarak çalışmanın çerçevesi çizilmiştir.

- Rastgele dağıtılmış algılayıcı düğümleri için kapsama boşluklarını ve gereksiz düğümlerin varlığını gidermek için kullanılabilecek stratejiler nelerdir?
- Farklı düğüm türlerinin, çevresel faktörlerin ve hedef alan yapısının algılayıcı düğümlerin bağlantısı ve kapsamı üzerindeki etkileri nelerdir?

- Algılayıcı düğüm dağıtım optimizasyonunda evrimsel algoritma kullanımının kapsama alanı başarımı üzerindeki etkisi nedir?

1.2. Benzer Çalışmalar

Algılayıcı düğümlerin yerleştirilmesi, KAA performansı, enerji verimliliği ve genel verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir. Algılayıcı düğümlerin bir yandan birbirleriyle bağlanabilirlikleri korunurken aynı zamanda kapsama alanının artırılmaya çalışılması ve düğümler için bu şartları sağlayacak en uygun konumlarının belirlenmesi, NP-Zor (NP-Hard) problemler arasında yer alır. NP-Hard problemler, çözümü için gereken zamanın problem boyutuyla birlikte üstel olarak arttığı ve dolayısıyla büyük ölçekli problemlerde hesaplama açısından çok zor olan problemlerdir. Bu durum algılayıcı yerleştirme sürecini oldukça karmaşık hale getirir. Literatürde yer alan mevcut çalışmalar, genellikle algılayıcı yerleşimi, ağ performansı, enerji verimliliği, kapsama stratejileri ve algılayıcı düğüm seçimi gibi temel konulara odaklanmıştır. Bu faktörler KAA'ların genel performansını belirleyen ve uygulama gereksinimlerine göre şekillenen kritik unsurlardır.

KAA sistemlerinin etkinliğini artırmak için geniş bir alanı kapsayabilen sistemler geliştirmek önemlidir. Kapsama alanı, ağın veri toplayabildiği ve aktif olduğu bölgeyi ifade eder. Algılayıcılar tarafından kapsanan alan ne kadar geniş olursa ağın veri toplama kapasitesi de o kadar artar. Bu tez çalışmasının da hedefi en az sayıda algılayıcı düğüm kullanarak maksimum alanı kapsamaktır; bu da karmaşık bir optimizasyon problemidir. Bu problemleri çözmek için literatürde düğüm yerleştirme stratejilerinin yanı sıra yapay zekâ algoritmalarını ve hibrit yaklaşımları içeren çeşitli yaklaşımların geliştirildiği görülmektedir.

Egwuche ve arkadaşları, makine öğrenimi ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanarak KAA kapsama optimizasyonu üzerine kapsamlı bir bibliyometrik analiz sunmuşlardır. Araştırmalarında, derin öğrenme tekniklerinin ağ performansını ve kapsama alanını iyileştirme potansiyelini vurgulamışlardır [1].

Al-Mousawi ve arkadaşları, KAA optimizasyonu için çeşitli evrimsel algoritmaları uygulayarak, yönlendirme, kümeleme, yerelleştirme ve kapsama gibi temel konulara odaklanmışlar ve KAA'ların genel performansında önemli iyileştirmeler sağladıklarını göstermişlerdir [7].

Banoori ve arkadaşları, düğüm dağıtım yöntemlerinin kapsama alanı, bağlantısallık(connectivity) ve ağ ömrü gibi faktörler açısından etkinliğini karşılaştırmışlar ve deterministik yöntemlerin rastgele dağıtım tekniklerine göre daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir [8].

Elhoseny ve arkadaşları, k-kapsamı sorununu çözmek için GA tabanlı bir model önermiş ve enerji verimliliği ile KAA ömrünü uzatma konusunda diğer yöntemlere üstünlük sağladıklarını belirtmişlerdir. k-kapsamı; her noktanın en az k sayıda algılayıcı tarafından kapsandığını bir kriteri ifade eder. Bu kavram ağın güvenilirliğini artırmak ve veri toplama sürekliliğini sağlamak için önemlidir [9].

Farsi ve arkadaşları, çalışmalarında KAA konusunun son yıllarda araştırmacılar tarafından büyük ilgi gören bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada KAA'lardaki kapsama tekniklerini üç ana bölüme ayırmışlardır: klasik dağıtım tekniklerine dayalı kapsama, metasezgisel tekniklere dayalı kapsama ve kendi kendine zamanlama tekniklerine dayalı kapsama. Bu teknikleri kendi aralarında karşılaştırarak avantaj ve dezavantajlarını detaylı bir şekilde incelemişlerdir [10].

Idrees ve Al-Yaseen, KAA'nın kullanım ömrünü uzatmak ve kapsama alanını korumak amacıyla Ömür Boyu Kapsama Optimizasyonu için Dağıtılmış Genetik Algoritma adını verdikleri yeni bir protokol geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu protokol sanal ağın alt alanlara bölünmesini, her alt alandaki küme başının seçimini ve her küme başının gerçekleştirdiği algılayıcı aktivitelerinin planlanmasını GA ile optimize etmeye odaklanmıştır. Bu çalışma ile KAA'ların daha uzun süre ile ve daha etkin çalışmasını sağlamayı hedeflemişlerdir [11].

Karataş, kritik alanları izlemek amacıyla heterojen düğümlerin konumlandırılmasında tamsayılı doğrusal programlama (Integer Linear Programming, ILP) ve GA kullanan çok amaçlı bir model geliştirmiştir. Önerilen model teknik özellikler ve kısıtlamalar dikkate alınarak izleme alanını maksimize etmek üzere tasarlanmıştır [12].

Hanh ve arkadaşları, sezgisel algoritmaların zayıf yönlerini gidermek için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma buluşsal popülasyon başlatma, uygunluk fonksiyonu olarak tam integral alanını hesaplayan bir yöntem ve Laplace ve aritmetik çaprazlama yöntemlerinin bir kombinasyonunu içermektedir [13].

Khalaf ve arkadaşları, Yapay Arı Kolonisi algoritmasını (Artificial Bee Colony Algorithm, ABC) kullanarak KAA kapsamını optimize etmek için bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemi MATLAB ortamında simüle etmişler ve sonuçlarını GA ile karşılaştırmışlardır. Bulgularına göre ABC algoritması ile GA'ya kıyasla daha optimal kapsama sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir [14].

Mnasri ve arkadaşları, KAA'larda algılayıcı düğümlerin dağıtımı sorununu çözmek üzere farklı yöntemleri ele alan çalışmaları incelemişler ve bu çalışmaların başarımlarını ve kısıtlarını karşılaştırmışlardır. Bu bağlamda deterministik yöntemlerin kapsama alanını daha iyi garanti etmesine rağmen kısıtları göz önüne alındığında kullanım alanlarının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir [15].

Nasri ve arkadaşları, KAA'ların kullanım alanları ve önemleri konusuna değinerek, 3 boyutlu (3B) arazi üzerinde dağıtım problemini ele almışlardır. Bu problemi çözmeyi amaçlayan birçok çalışmayı inceleyerek karşılaştırmışlardır. İnceledikleri problemlerde kullanılan algoritmaları, bu algoritmaların avantaj ve dezavantajlarını vurgulayan özetleyici bir tablo sunmuşlardır. Yaptıkları karşılaştırmalar sonucunda GA'nın performansının çoğu durumda diğer yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [16].

Patil ve Suresha çalışmalarında; statik, dinamik ve enerji odaklı dağıtım algoritmaları ile düğüm dağıtımı yapmışlar ve optimum yerleştirme stratejilerini belirlemek için bu yöntemlerin performanslarını çeşitli parametrelere göre karşılaştırarak sunmuşlardır [17].

Priyadarshi ve arkadaşları, KAA kapsama tekniklerini geometrik, kuvvet tabanlı, ızgara tabanlı ve metasezgisel hesaplama teknikleri olmak üzere toplam dört temel kategori altında incelemiş ve bu tekniklerin avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmalı bir analizle sunmuşlardır [18].

Sharma ve arkadaşları, KAA'ların kullanım alanlarının genişlemesiyle birlikte, etkin düğüm dağıtımı ve düğümlerin ömrü gibi önemli problemleri ele almışlardır. Çalışmalarında geniş arazilerde rastgele dağıtım modelinin uygun olduğunu ancak dış etkenlerin algılayıcı düğümlerin konuşlandırılmasını zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Bu nedenle algılayıcı düğümlerin hareket kabiliyetlerini göz önünde bulundurarak dağıtım stratejilerinin planlanması gerektiğini savunmuşlardır [19].

Tarnaris ve arkadaşları, KAA'ların sağladığı faydaların bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tuttuğunu vurgulamış ve çalışmalarında hesaplamalı zekâ algoritmalarını kullanarak kapsama alanını ve k-kapsamını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamışladır [20].

Tossa ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarında algılayıcı sayısının sınırlı olduğu durumlarda KAA'lardaki kapsama alanını artırmak için genetik algoritmanın kullanıldığı bir çözüm önermişlerdir. Algılayıcıların ortama rastgele dağıtıldığı durumlarda, bu algılayıcıların kapsadıkları alanlar birbirleriyle örtüşebilmektedir. Örtüşen algılayıcıların sayısı 3 ve üzerinde ise matematiksel formüllerle çözümlenmesi oldukça zordur. Bu çalışmada bu duruma çözüm getirmek amacıyla algılayıcı dağıtımı Genetik algoritma ile yaparken, kapsama alanının hesaplamasında ise görüntü işleme tekniklerinden yararlanmışlardır [21]. Yine 2022 yılında yayınlamış oldukları başka bir çalışmalarında ise algılayıcı düğümler arasındaki bağlantısallığı ön planda tutarak maksimum kapsama sorununu ele almışlardır. Buna göre KAA'lardaki kapsama alanını maksimuma çıkarmak için GA tabanlı yeni bir algoritma önermişlerdir [22].

Wang ve arkadaşları, KAA kapsamını ve ağ performansını iyileştirmek için Balina Optimizasyonu Algoritmasına (Whale Optimization Algorithm, WOA) dayalı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca heterojen düğümlere sahip KAA'larda dağıtım optimizasyonu için Çiçek Tozlaşma Algoritması (Flower Pollination Algorithm, FPA) temelli yeni yaklaşımlar sunmuşlardır [23]. 2019 yılında yaptıkları bir çalışmada ise heterojen düğümlere sahip KAA'lardaki dağıtım optimizasyonu sorununu ele almışlardır. Bu çalışmalarında popülasyon çeşitliliğini korurken daha yüksek kapsama oranları ve daha düşük maliyetler elde etmek için FPA 'yı temel alan yeni yaklaşımlar önermişlerdir [24].

Yarinezhad ve Hashemi, algılayıcı yerleştirme problemlerini çözmek için Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) temel alan Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemini kullanarak işbirlikçi yaklaşım önermişlerdir [25].

Yoon ve arkadaşları, çalışmalarında algılayıcıların dağıtım sorunlarını ele almış olup KAA'larda "maksimum kapsama alanı sağlayan algılayıcı dağıtım problemi"ni resmi olarak tanımlamışlardır. Problem uzayını tespit edip, özelliklerini saptadıktan sonra genetik algoritma ile en iyi algılayıcı dağıtımını bulmaya çalışmış ve genetik algoritmanın performansını iyileştirmek için yeni yöntemler denemişlerdir. Bu denemeler sonucunda daha verimli bir hesaplama fonksiyonu tasarlamak için Monte Carlo yöntemini kullanarak çözüm kalitesinde kayıp olmadan hesaplama süresini azaltmışlardır. Monte Carlo yöntemi, çözüm uzayını keşfetmek ve değerlendirmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Çalışmada Monte Carlo yöntemi, algılayıcı düğümlerinin rastgele yerleştirilmesiyle başlayarak, bu yerleştirmenin kalitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde ettikleri performans değerlerini diğer metotlar ile karşılaştırmışlardır [26].

Zamenni ve arkadaşları, çalışmalarında yenilenebilir enerji kaynaklı KAA'larda hedef kapsaması için düğüm dağıtımı üzerinde durmuşlardır. Amaçları kapsama alanını artırıp, bağlantısallığı koruyarak düğüm sayısını en aza indirmektir. Önerdikleri algoritma ile uygulamayı iki aşamaya ayırmışlardır. Birinci aşamada, genetik algoritma kullanılarak kullanılacak algılayıcıların yerleri belirlenir ve ortamı kapsayacak şekilde dağıtımları

yapılır. İkinci aşamada ise hedeflenen kapsama alanını sağlamak için ILP tekniklerinden yararlanarak kabul edilebilir sürede yüksek verimli çözümler aranması amaçlanır. Önerilen algoritmanın deneysel sonuçları, önceki yaklaşımlarla kıyaslandığında ortalama olarak %29 daha az algılayıcı gerektirdiğini ortaya koymuşlardır [27].

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda KAA dağıtımı uygulamalarında; enerji yönetimi, algılayıcı sayısı, kapsama alanı ve düğümler arası bağlantısallık gibi önemli alt başlıkların vurgulandığı görülmüştür. Mevcut çalışmaların genellikle kablosuz algılayıcı ağların yerleştirilmesinde karşılaşılan NP-Zor senaryolarına yönelik çözümler sunduğu ve çeşitli yaklaşımların ve tekniklerin kullanıldığını ortaya konmuştur. Bu çalışmalarda kapsama alanını artırmak için düğüm yerleştirme stratejilerinin yanı sıra evrimsel algoritmaların kullanıldığı ve bu yöntemlerin sonuçları iyileştirmeye yönelik potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.

Literatürde, kapsama alanını artırmayı hedefleyen çalışmalarda, çeşitli evrimsel algoritmaların kullanıldığı görülmüştür. Bu algoritmalar arasında Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Benzetimli Tavlama (SA), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC), Çita Optimizasyonu (CO), Kaotik Çiçek Tozlaşması Optimizasyon Algoritması (CFPA), Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması (FOA), Enerji İyileştirilmiş Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması (E-FOA), Gri Kurt Optimizasyonu ve Sanal Kuvvet Algoritması (GWOVF), Değiştirilmiş İyileştirilmiş Genetik Algoritma (MIGA), Karınca Aslanı Optimizasyon Algoritması (Ant-Lion), Mutant Gri Kurt Optimizasyonu (MuGWO), Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyonu (IGWO), Yin-Yang Güvercini Optimizasyon Algoritması (Yin-YangPIO), Optimal Hibrit Genetik Algoritma (OPTHGA), Genetik Algoritmaya Dayalı Geliştirilmiş Dinamik Dağıtım Tekniği (IDDT-GA), Geliştirilmiş Vahşi At Optimizasyonu (IWHO) ve Yerçekimi Arama Algoritması (GSA) yer almaktadır.

Bu çalışmalarda kullanılan düğüm tipleri, düğüm sayıları, simüle edilen ortam özellikleri, uygulanan metodolojiler ve elde edilen kapsama başarıları hakkında detaylı bir özet,

Tablo 1.1'de sunulmuştur. Bu tablo, evrimsel algoritmaların kapsama alanının artırılmasındaki etkinliğini ve farklı çalışma koşullarındaki performansını karşılaştırmak için önemli bir kaynak sağlamaktadır.

Tablo 1.1. Evrimsel Algoritmaları Kullanan Benzer Çalışmalar

#	KAA Yapısı	Düğüm Tipi Sayısı	Düğüm Sayısı	Alan Modeli	Çevre	Metod	Kapsama(%)	Yıl
[14]	Homojen	1	32	2B Dörtgen	Statik	ABC	97.87	2020
[23]	Homojen	1	50	2B Dörtgen	Statik	WOA	95.80	2018
[28]	Homojen	1	40	2B Dörtgen	Statik	CO	93.72	2023
[29]	Heterojen	3	63	2B Dörtgen	Statik	CFPA	98.84	2016
[30]	Homojen	1	35	2B Dörtgen	Statik	FOA	91.92	2023
[30]	Homojen	1	35	2B Dörtgen	Statik	E-FOA	92.59	2023
[31]	Homojen	1	100	2B Dörtgen	Statik	GWOVF	99.45	2023
[32]	Heterojen	3	27-199	2B Dörtgen	Statik	MIGA	—	2019
[33]	Homojen	1	100	2B Dörtgen	Statik	Ant-Lion	97.19	2018
[33]	Homojen	1	100	2B Dörtgen	Statik	GA	91.47	2018
[33]	Homojen	1	100	2B Dörtgen	Statik	PSO	86.53	2018
[34]	Homojen	1	200-1200	Hedef Alan	Statik	GA-TabuSearch	—	2022
[35]	Homojen	1	45	Hedef Alan	Dinamik	MuGWO	99.14	2022
[36]	Homojen	1	40	2B Dörtgen	Statik	IGWO	97.50	2019
[36]	Homojen	1	55	2B Dörtgen	Dinamik	IGWO	100.0	2019
[37]	Homojen	1	20	2B Dörtgen	Statik	Yin-YangPIO	99.51	2022
[38]	Heterojen	3	27-199	2B Dörtgen	Statik	OPTHGA	—	2013
[39]	Homojen	1	45	Hedef Alan	Statik	IDDT-GA	97.25	2020
[40]	Homojen	1	45	2B Dörtgen	Statik	IWHO	97.58	2023
[40]	Heterojen	2	20	2B Dörtgen	Statik	IWHO	98.51	2023

1.3. Tez Organizasyonu

Bu tez kitapçığının devamındaki diğer bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde bu çalışmanın ana konusu olan KAA ve konuyla ilgili çeşitli kavramlar, düğüm dağıtım ve optimizasyon yöntemleri tanımlanarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tez çalışmasında ağ kapsama alanının hesabı için geliştirilmiş olan nokta sayma yöntemi ve kapsama alanını artırmayı hedefleyen titreşimsel mutasyon işlemi entegre edilmiş özgün bir GA tabanlı yaklaşım detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise algılayıcı düğümü dağıtımlarına ilişkin deneysel çalışmalar ve sonuçlarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise tez kapsamında yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara, değerlendirmelere ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar

KAA; küçük boyutlu, düşük maliyetli ve az enerji tüketen cihazlar kullanılarak dağıtık ortamlarda fiziksel büyüklükleri veya çevresel koşulları (ses, ışık, titreşim, sıcaklık, nem, basınç ve hareket gibi) kollektif bir şekilde izlemek için tasarlanan ve kablosuz iletişim teknolojileriyle birbirleriyle haberleşen ağlardır. Ağı oluşturan ve birbirleriyle bilgi alışverişi yapan algılayıcılar ortamdan topladıkları verileri Şekil 2.1'de görüldüğü gibi daha güçlü ve yetenekli olan bir veri toplama merkezine (sink) iletirler. Bu veri toplama merkezi algılayıcılardan gelen verileri toplar, işler ve daha gelişmiş analizler yaparak, depolama için merkezi bir sunucuya veya bulut hizmetine iletir. Böylece KAA'ler sayesinde zeki gözlem ortamı oluşturularak, bilgiye her an ve her yerden kolayca erişim sağlanabilir.



Şekil 2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağ

KAA teknolojisi, 1960'larda ortaya çıkmış ve 1990'ların sonunda ABD Savunma Bakanlığı'na bağlı Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA), Algılama Bilgi Teknolojisi (Sensing Information Technology - SensIT) programıyla önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu program, algılayıcı ağları araştırma ve dağıtık algılayıcı ağları kullanarak bilgi toplama, işleme ve iletim süreçlerini geliştirmeyi amaçlamıştır. Özellikle askeri alanda durumsal farkındalığı artırma amacıyla

yenilikçi çözümler üretilmiştir. Akademi ve endüstri tarafından ilgi gören bu ağlar, askeri uygulamalardan başlayarak sağlık, ekoloji, akademik araştırmalar, endüstri ve sivil uygulamalar gibi birçok alanda kullanılmaktadır [3, 6, 41–43].

2.1.1. Algılayıcı Düğüm

Algılayıcı düğümler (node), çeşitli fiziksel büyüklükleri veya çevresel koşulları algılamak ve bu bilgileri iletmek üzere tasarlanmış cihazlardır. Her bir düğüm genellikle sıcaklık, nem, basınç, ışık gibi çeşitli fiziksel büyüklükleri ölçen algılayıcılar barındırır. Algılanan veriler, düğümde bulunan işlemci ve bellek tarafından işlenir ve saklanır. Düğümler kablosuz iletişim modülleri aracılığıyla diğer düğümlerle veya merkezi veri toplama birimleriyle iletişim kurarlar. Ancak bu düğümlerin sınırlı enerji kaynaklarına sahip olması, enerji verimliliği ve kaynak yönetiminin önemini artırmaktadır.

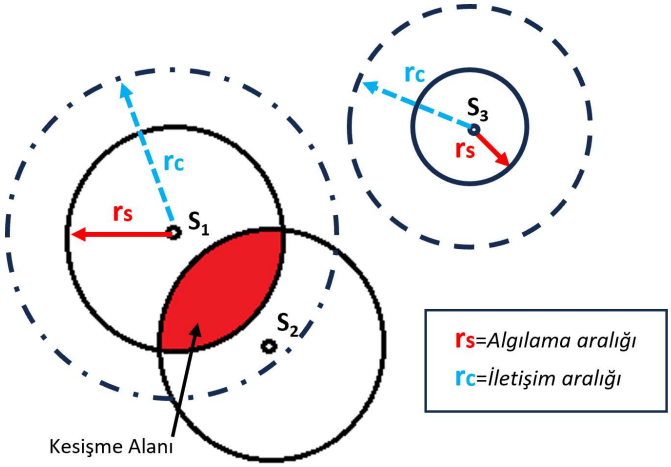
Her bir algılayıcı düğüm, kablosuz iletişim ve sinyal işleme yeteneği ile donatılmıştır. Bu özellikleri sayesinde KAA'lerde iletişim, diğer kablosuz ağ türlerinden farklı olarak çift yönlüdür; yani veri gönderme ve alma işlemleri karşılıklı olarak gerçekleştirilir. Ancak düğümler sınırlı hafıza, güç ve iletişim kaynaklarına sahiptir. Bu nedenle geniş bir alanda uygulama gerçekleştirebilmek için çok fazla sayıda algılayıcı düğümün kullanılması gereklidir. Bu durum hareket eden nesnelerin hızını, yönünü, boyutunu ve diğer özelliklerini daha yüksek doğrulukla tespit etmeye olanak tanır. Ancak bu geniş çaplı algılayıcı kullanımı, KAA'nın toplam maliyeti açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir [41, 44].

2.1.2. Kapsama Alanı

Kapsama alanı, algılayıcı düğümlerin belirli bir bölgedeki olayları veya nesneleri algılama yeteneğini ifade eder. Bu yetenek, düğümlerin algılama aralığı (sensing range), kapsama yarıçapı r_s ile tanımlanır. Bir düğüm, kendisini r_s mesafede çevreleyen fiziksel alan içindeki olayları veya nesneleri algılayabilir. Algılama aralığı içerisinde

yer alan bölge ise **"kapsam veya kapsama alanı"** olarak adlandırılır. İletişim aralığı(communication range, r_c) ise algılayıcı düğümlerinin birbirleriyle kablosuz olarak iletişim kurma yeteneğini ifade eder ve literatürde bu kavrama **"bağlantı ve bağlantısallık"** adı verilir [6].

Algılayıcının kapsama alanı kullanılan düğümün algılama modeline bağlıdır. Ancak literatürde sıklıkla algılama alanının dairesel kabul edildiği ve fiziksel çevre koşullarından etkilenmediği şeklinde yaklaşımlar benimsenmektedir. Algılayıcının kapsama alanı r_s 'ye bağlı iken birbirleriyle haberleşebilmeleri de düğümlerin r_c değerine bağlıdır.



Şekil 2.2. Düğümlerin Algılama ve İletişim Aralıkları

Algılayıcı düğümler arasındaki iletişim gücü ve frekansı, iletişim ortamının özelliklerine ve kullanılan iletişim protokolüne bağlı olarak değişebilen r_c ve r_s mesafeleri tarafından belirlenir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, S_1 ve S_2 düğümleri birbirlerine yakın olduğundan iletişim kurabilirler çünkü r_s mesafesi, r_c mesafesinden küçüktür. Ancak bu durumda düğümlerin kapsama alanları birbirleriyle kesişebilir. Öte yandan, S_3 düğümü S_1 ve S_2'den r_c ve r_s mesafelerle uzaktadır, bu nedenle kapsama alanları örtüşmez. Ancak bu durumda S_3 düğümü her iki düğümle de iletişim kuramaz. Her iki durum da istenmeyen bir durumu temsil eder [6, 45].

Kapsama alanı problemi tanımı şu şekildedir: Bir A alanı içerisinde $i = \{1, 2, ...n\}$ olmak üzere $(x_\mathrm{i}, y_\mathrm{i})$ koordinatları ile tanımlanmış $S = \{S_1, S_2, ...S_\mathrm{n}\}$ algılayıcı kümesi verilmektedir. Denklem 2.1'de verilen r_i; i. düğümün algılama aralığını (algılayıcı merkezinden r_i kadar uzak noktayı algılayabilmekte), Cr_i ise düğümün kapsamasını temsil eder. Bir algılayıcının bir nesneyi (Oi) algılama durumu algılayıcı ile nesne arasındaki mesafenin (D), algılayıcının algılama aralığından küçük veya büyük olmasına göre değişmektedir. Aradaki mesafe küçük veya eşit ise nesne kapsama alanındadır, aksi durumda ise nesne algılanamamaktadır. Çok sayıda algılayıcı kullanılarak oluşturulan ağdaki tüm düğümlerin kapsayacakları maksimum alan Denklem 2.2 ile formülize edilmektedir [17, 26].

$$Cr_i = \begin{cases} 1, D(S_i, O_i) \leq r_i \\ 0, D(S_i, O_i) > r_i \end{cases} \tag{2.1}$$

$$MaxCri = \left(\bigcup_{i=0}^{n} Cri(xi, yi) \bigcap A \right) \tag{2.2}$$

KAA'larda yer alan her düğümün en az bir düğüm ile haberleşerek, diğer düğümler ile üst üste gelmeden (overlap) ve kapsama alanları kesişmeden, minimum düğüm sayısı ile maksimum alanı kapsamaları amaçlanmaktadır. Aksi takdirde düğümler aynı alanlar üzerinden veri alarak hem veri boyutunu hem de maliyeti artırır hem de gereksiz enerji tüketimine neden olur. KAA'larda maliyeti azaltmak ve kapsama alanını artırmak amacıyla düğüm dağıtım yöntemleri içerisinden en uygun yöntem seçilir.

2.1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Amaç Fonksiyonları

Kapsama alanı problemlerinde amaç fonksiyonlarının seçimi, tasarım ve optimizasyon süreçlerini yönlendireceği için son derece önemlidir. Amaç fonksiyonları önemine göre şu şekilde sıralanabilir [46]:

- Kapsama Alanı,
- Bağlantısallık,
- Ağ Ömrü,
- Enerji Tüketimi,
- Maliyet.

KAA'larda kapsama alanını maksimize etmek temel hedeftir. Algılayıcılar arasındaki bağlantıyı sağlayarak zeki bir veri toplama sistemi kurmak da oldukça karmaşık bir işlemdir. Bu süreci değerlendirmek için kapsama eksikliği, düzenlilik ve gereksiz bilgi gibi bazı metrikler kullanılır. Çok sayıda algılayıcının olduğu ağlarda tıkanma (congestion) ve çarpışmalar (collision) olabilmektedir. Bunu önlemek için birbirine yakın algılayıcılar eşzamanlı iletişim yapmamalıdır. Eğer bu algılayıcılar aynı anda ve aynı frekans bandında iletişim yaparlarsa çakışmalar ve tıkanmalar ortaya çıkabilir. Özellikle aynı frekans bandını kullanan algılayıcılar birbirleriyle çakışarak veri iletiminin başarısız olmasına neden olabilirler. Bu nedenle KAA'larda Zaman Paylaşımlı Erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) ve Taşıyıcı Algılama Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access, CSMA) gibi erişim protokolleri kullanılır. TDMA'da, ağdaki zaman dilimleri belirlenir ve her algılayıcıya iletişim için belirli bir zaman dilimi atanır. Algılayıcılar sadece kendi zaman dilimlerinde veri iletimi yaparlar, böylece çakışmalar önlenir. Öte yandan CSMA'da iletişim yapacak cihazlar önce ortamda bir taşıyıcı sinyal olup olmadığını kontrol ederler. Ortam boşsa iletişimlerini başlatırlar, dolu ise iletişim için beklerler. Bu sayede ağdaki çakışmalar azaltılır ve verimlilik artırılır. Bu protokoller, KAA'larda veri iletimi sırasında ortaya çıkabilecek çakışmaları ve tıkanmaları önlemek için kullanılır. Her protokolün kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunur ve protokol, kullanılacak ortamın özelliklerine göre seçilmelidir [47].

Ağın ömrünü maksimize etmek önemli bir hedeftir. Bu hedef doğrultusunda ağı daha uzun süre çalışabilir hale getiren kapsama algoritmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Enerji tüketimini minimize etmek de kritik bir öneme sahiptir. Algılayıcı düğümlerin sınırlı bir ömrü olduğundan enerji tüketimini en aza indirirken kapsama alanını maksimize eden algoritmaların tasarlanması zorunludur. Her düğümün algılama aralıkları veya görev döngüleri, dengeli enerji tüketimi ve tasarrufu sağlamak amacıyla optimize edilmelidir.

KAA dağıtımlarında sağlanması gereken bir başka hedef ise maliyettir. Algılayıcılar çevresel koşullar, mekanik aşınma, elektriksel bozulmalar, kalibrasyon sorunları ve kullanım ömrü gibi nedenlerden dolayı bozulmaya yatkın cihazlardır. Ayrıca algılayıcıların sıklıkla yer değiştirmesi de bozulma riskini artıran önemli bir faktördür. Kullanılan donanım, düğümlerin dağıtımı ve KAA'ların bakımı da dahil olmak üzere toplam maliyet en aza indirilmelidir.

Bu zorluklar tasarım aşamasında birbirini etkileyebilir. KAA'larda kapsama problemi, algılayıcı düğümlerinin belirli bir alanı ne kadar etkin bir şekilde kapsayabileceği sorununu ele alır. Örneğin, kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak için daha fazla algılayıcı kullanıldığında bu durum, enerji tüketiminde artış anlamına gelir. Bu nedenle enerji sınırlaması ile kapsama alanı maksimizasyonu arasında bir denge sağlanması önemlidir. Bu da en az sayıda algılayıcı düğüm kullanılarak en yüksek kapsama oranını elde etmek anlamına gelmektedir. Bu oldukça karmaşık bir en iyileme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde bu alanda farklı çözüm teknikleri bulunmaktadır. Bu bağlamda kapsama problemi KAA tasarımında önemli bir konudur ve çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak ele alınmalıdır. Aşağıda bu faktörlerin başlıcaları sıralanmıştır;

- **Kapsama:** Algılayıcı düğümlerinin nasıl yerleştirileceği kapsama probleminin temelini oluşturur. Optimum kapsama için algılayıcı düğümlerinin stratejik konumlara yerleştirilmesi önemlidir. Bunun için literatürde çeşitli düğüm yerleştirme yöntemleri yer almaktadır.

- **Algılayıcı Düğümlerin Yetenekleri:** Düğümlerin algılama aralığı, iletişim kapasitesi ve enerji tüketimi gibi yetenekleri, kapsama probleminin çözümünde dikkate alınmalıdır. Düğümlerin bu yetenekleri kapsama alanını etkileyebilir.

- **Topoloji Seçimi:** KAA'ların topolojisi, kapsama probleminin çözümünde önemli bir rol oynar. Düzgün bir topoloji kapsama alanının daha etkin bir şekilde kapsanmasına yardımcı olabilir.

- **Enerji Verimliliği:** Kapsama probleminin çözümünde enerji verimliliği önemlidir. Enerji tasarruflu iletişim protokolleri ve düşük enerjili sinyal işleme yöntemleri algılayıcı düğümlerinin ömrünü uzatabilir ve ağın kapsama süresini artırabilir.

- **Güvenilirlik ve Dayanıklılık:** Kapsama probleminin çözümünde ağın güvenilirliği ve dayanıklılığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Algılayıcı düğümlerinin arızalanması veya ağdaki değişiklikler gibi durumlar göz önüne alınmalıdır.

Bu faktörler göz önüne alındığında bir KAA kurulumu oldukça karmaşık bir en iyileme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde bu konuya çözüm arayan birçok yaklaşım ve teknik bulunmaktadır.

2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Tasarımı ve Uygulama Stratejileri

KAA Tasarımı ve Uygulama Stratejileri ağın etkili bir şekilde tasarlanması, düğümlerin yerleştirilmesi ve ağın işletilmesi için gerekli yöntemleri ve yaklaşımları kapsamaktadır. Bu stratejiler, ağın genel performansını optimize etmek ve belirli uygulama gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Merkezi ve dağıtık yaklaşımlar düğüm çeşitleri, veri toplama yöntemleri ve değişken çevre koşulları gibi tasarımda öne çıkan konular dikkate alınarak; ağın güvenilirlik, verimlilik ve uyarlanabilirlik özelliklerini iyileştirmeyi hedefler. Böylece ağın uzun ömürlü olması, bakım ihtiyaçlarının en aza indirilmesi ve çeşitli çevresel koşullara daha dayanıklı olması sağlanmış olur.

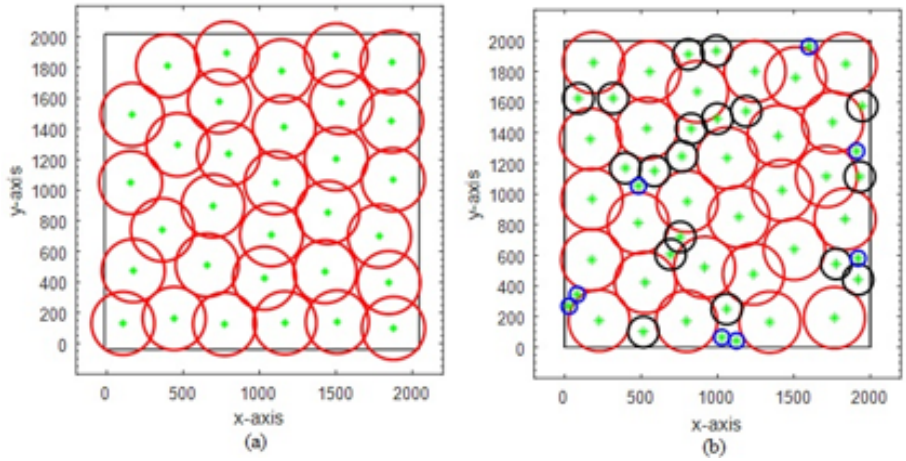
2.2.1. KAA Çeşitleri

KAA'lar, farklı özelliklere sahip algılayıcı düğümlerinden oluşurlar ve bu düğümlerin özellikleri ağın performansını ve işlevselliğini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Düğümler algılama aralığı, enerji kapasitesi ve iletişim yetenekleri gibi özelliklerinin aynı veya farklı olması durumuna göre çeşitlilik gösterir. KAA'ların çeşitliliği algılayıcı düğümlerinin farklı yetenekler, özellikler ve görevlere uygun tasarlanabilmesini sağlar. Bu çeşitlilik ağın belirli bir uygulama veya ortam için en uygun hale getirilmesine imkan tanır. Başlıca KAA çeşitleri şunlardır;

a) Homojen ve Heterojen KAA'lar

Homojen KAA, ağ içinde aynı özelliklere sahip olan ve genellikle aynı görevi yerine getiren algılayıcı düğümlerden meydana gelir. Bu düğümlerin algılama aralığı, enerji kapasitesi ve iletişim yetenekleri gibi önemli özellikleri birbirleri ile aynıdır. Örneğin bir çevre izleme uygulamasında, tüm algılayıcı düğümler aynı r_s ve kapsama alanına sahipken; sıcaklık, nem veya gaz yoğunluğunu vb. gibi algılama görevlerini yerine getirirler.

Aynı KAA üzerinde farklı özelliklere sahip olan ve genellikle farklı görevleri yerine getiren algılayıcı düğümlerin oluşturduğu ağlara ise Heterojen KAA denir. Ağı oluşturan bu düğümlerin algılama aralığı, enerji kapasitesi, hesaplama gücü ve iletişim yetenekleri gibi önemli özellikleri birbirlerinden farklılık gösterebilir. Örneğin KAA'daki bazı düğümler daha geniş algılama aralığına sahip olabilirken diğerleri daha yüksek batarya gücüne veya daha güçlü hesaplama yeteneklerine sahip olabilir. Ancak heterojen KAA'ların yönetimi ve koordinasyonu, homojen KAA'lara göre daha karmaşıktır. Farklı özelliklere sahip düğümlerin etkili bir şekilde ağa entegre edilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu, ağın tasarımı ve uygulanmasında dikkate alınması gereken önemli bir husustur.



Şekil 2.3. Homojen ve Heterojen KAA'lar

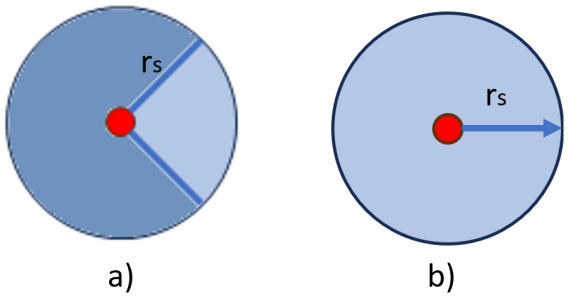
Şekil 2.3(a)'da KAA'yı oluşturan tüm düğümler aynı özelliklere sahiptir. Yani ağı oluşturan tüm düğümler aynı algılama aralığına, enerji kapasitesine ve iletişim yeteneklerine sahiptir ve genellikle aynı görevi yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Şekil 2.3(b)'de görülen KAA ise farklı özelliklere sahip düğümlerden oluşur. Bu çeşitlilik, ağın gereksinimlerine uyacak şekilde farklı görevleri yerine getirmek için özelleştirilmiş düğümlerin kullanılmasına olanak sağlar [48].

b) Statik ve Mobil KAA'lar

Statik algılayıcı düğümler belirli (sabit) konumlarda sabit olarak kalır ve genellikle belirli bir alanı izlemek veya hava kirliliği gibi çevresel parametreleri ölçmek için kullanılır. Buna karşılık Mobil KAA'larda algılayıcı düğümler hareketlidir ve genellikle hareketli hedefleri izlemek için kullanılır. Statik KAA'lar genellikle yönetimlerini kolaylaştıran planlanmış bir topolojiye sahiptir. Mobil KAA'lar ise dinamik ortamlara daha iyi uyum sağlasalar da enerji tüketimi ve düğüm yönetimi açısından daha karmaşıktırlar [48].

c) Tek Yönlü ve Çok Yönlü KAA'lar

Çok Yönlü (Omni-directional) ve Tek Yönlü (Directional) KAA tipleri, KAA'ların fiziksel yapılandırması ve düğümlerin iletişim yeteneklerini ortaya koymaktadır. Bu özellikler KAA'ların farklı uygulama gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmasına ve uygulan-



Şekil 2.4. Kablosuz Veri İletiminde Düğüm Çeşitleri a) Tek Yönlü b) Çok Yönlü

masına olanak sağlar. Tek Yönlü KAA'lar, Şekil 2.4(a)'da görüldüğü gibi sinyali belirli bir yönde odaklayan antenler kullanır. Bu, iletişim aralığını uzatır ve gereksiz bölgelerden gelen parazit sinyallerin miktarını azaltır. Bu yöntem algılayıcı düğümlerinin birbirleriyle uzun mesafelerde veya belirli bir yönde iletişim kurması gerektiğinde çok iyi çalışır.

Çok Yönlü KAA'lar ise Şekil 2.4(b)'de görüldüğü gibi sinyali tüm yönlere eşit olarak gönderebilir ve alabilir. Sonuç olarak tek yönlü ve çok yönlü KAA'lar arasındaki tercih, kapsama alanı, algılama aralığı ve kullanılacak ortam türü gibi uygulama gereksinimlerine dayanır. Örneğin, genel bir çevresel izleme uygulaması için çok yönlü KAA'lar tercih edilebilirken, uzak mesafeli bir izleme veya iletişim uygulaması için tek yönlü KAA'lar daha uygundur [18].

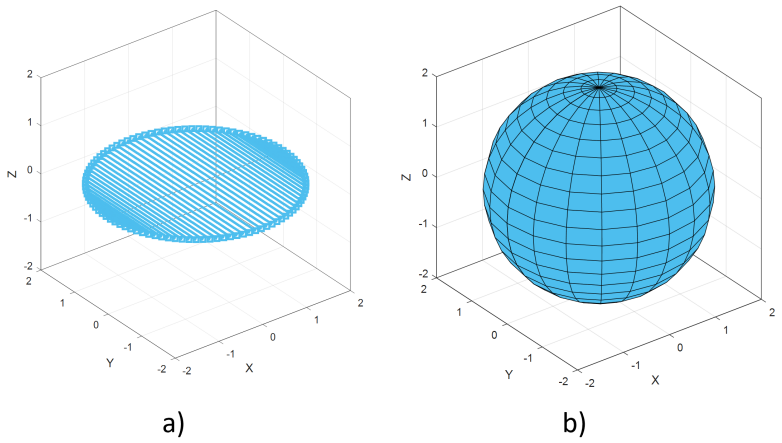
d) İki ve Üç Boyutlu KAA'lar

Algılayıcı ağlarının fiziksel konumlarına ve kapsanması veya izlenmesi gereken alanın boyutlarına bağlı olarak KAA'ler, İki boyutlu (Two-dimensional, 2B) ve Üç boyutlu (Three-dimensional, 3B) olmak üzere 2 çeşittir. 2B ve 3B KAA'lar arasındaki tercih, uygulamanın özel gereksinimlerine ve izlenen ortamın doğasına bağlıdır.

2B KAA'larda, algılayıcı düğümler Şekil 2.5(a)'da görüldüğü gibi sadece iki boyutta ifade edilir. Bu tür ağlar düz yüzeylerde veya alanlarda iyi şekilde çalışabilir ve tarım alanlarını izlemek, çevresel koşulları takip etmek veya endüstriyel tesislerin belirli bir alanını gözetlemek gibi uygulamalarda kullanılabilirler. Mevcut çalışmaların çoğu 2B KAA'lara odaklanmaktadır. Ancak gerçek dünya uygulama senaryolarında, alanda engeller, yapılar

vb. bulunmaktadır. Nesnelerin varlığı nedeniyle, 2B KAA tasarımı yeterli değildir ve 3B KAA tasarımı gereklidir.

3B KAA'da, algılayıcı düğümleri Şekil 2.5(b)'de görüldüğü üzere üç boyutlu bir uzayda konumlanır. Bu ağlar genellikle engellerin ve yapıların olduğu alan veya arazilerin izlenmesi gereken uygulamalarda kullanılır. Örneğin, iç mekân güvenliği, yükseltilerin olduğu dağlık bir arazide İnsansız Hava Aracı (İHA) izleme veya bir sualtı ortamında çevresel koşulları izleme gibi uygulamalarda kullanılabilirler [49].

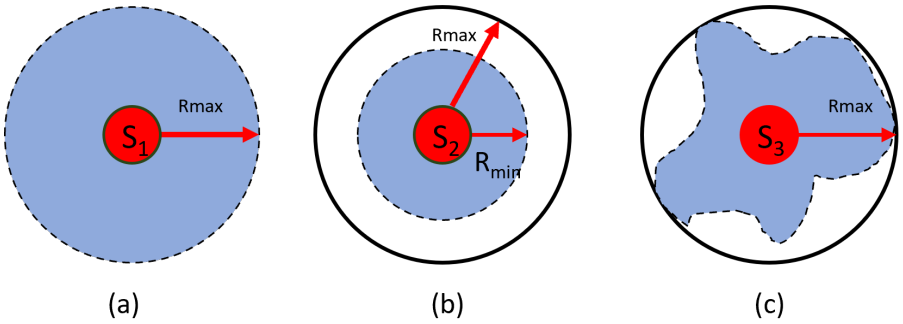


Şekil 2.5. Kapsama Alanı Boyutuna Göre Ağ Çeşitleri a)2B b)3B

2.2.2. Algılama Modelleri

KAA'larda, "algılama modelleri" terimi, algılayıcı düğümlerin algılama yeteneğini ve kalitesini yansıtan soyut modellerdir. Ağ içindeki algılayıcı düğümlerinin çevresel faktörleri nasıl algıladığı veya ölçtüğüne dair yöntem ve mekanizmaları ifade eder. Bu modeller hem tasarım süreci hem de ağ performansının değerlendirilmesi açısından önemlidir. KAA'larda yaygın olarak tanınan ve Şekil 2.6 'da verilen Boolean Disk Algılama Modeli, Elfes Düğüm Algılama Modeli ve Gölge Sönümlemesi Algılama Modeli olmak üzere üç algılayıcı modeli bulunmaktadır. Her biri benzersiz özelliklere ve uygulama alanlarına sahiptir. Bu da onları KAA'daki çeşitli senaryolar ve gereksinimler için uygun hale getirir. Bu modellerin anlaşılması, etkili ve verimli algılayıcı ağları geliştirmek için hayati öneme

sahiptir. Çünkü bunlar ağın çevresiyle etkileşimini ve tepkisini doğrudan etkiler [49].



Şekil 2.6. Algılama Modelleri (a) Boolean Disk (b) Elfes (c) Gölge Sönümlemesi

a) **Boolean Disk Algılama Modeli (Boolean Disk Sensing Model)**: Bu model Şekil 2.6(a)'da görüldüğü gibi bir algılayıcı düğümün algılama alanının, r_{max} ile gösterilen algılama aralığına sahip ve dairesel bir alan olduğunu varsayar. Algılama yarıçapı içinde yer alan tüm olaylar algılanabilirken dışındaki olaylar algılanamaz. Basit ve düşük karmaşıklığa sahip bir algılama modelidir.

b) **Elfes Düğüm Algılama Modeli (Empirical Link-aware Field Strength Estimation and Simulation Sensing Model)**: Düğümlerin algılama yetenekleri belirli bir olasılık dağılımına dayanır. Bu model düğümlerin algılama olasılığını olayın düğüme olan uzaklığına bağlı olarak azaldığını kabul eder. Bu model daha gerçekçi ve esnek bir yaklaşım sunar. r_{max} algılayıcı düğümünün maksimum algılama aralığı ve r_{min} algılama belirsizliğinin başladığı noktadır. Dolayısıyla Şekil 2.6(b)'de görüldüğü gibi, r_{max} ve r_{min} arasında gerçekleşen bir olayın algılanması olasılık dahilindedir.

c) **Gölge Sönümlemesi Algılama Modeli (Shadow Fading Sensing Model)**: KAA'larda engellerin (kullanılan ortama göre binalar ve bitki örtüsü vb.), düğümlerin algılama yetenekleri üzerindeki etkisini hesaba katan bir modeldir. Bu model algılama yeteneğinin tüm yönlere eşit olmadığını kabul eder ve rastgele değişikliklere uğramasını modellemek için kullanılır. Bu model sinyalin yayılımındaki

gölgeleme etkisini dikkate alır. Sinyal gücündeki rastgele değişimler log-normal dağılımla modellenir. Bu model Şekil 2.6(c)'de görüldüğü gibi engellerin etkisinden kaynaklanan düzensiz algılama desenini gerçekçi bir şekilde temsil eder ve çevresel koşulları dikkate alarak algılama özelliklerini modelleme yeteneği sağlar.

Tablo 2.1. Algılama Modellerinin Karşılaştırılması

Kriterler	**Boolean Disk algılama modeli**	**Elfes algılama modeli**	**Gölge Sönümlemesi algılama modeli**
Kesinlik Derecesi	Deterministik	Olasılıksal	Olasılıksal
Engel Bağımlılığı	Bağımsız	Bağımlı	Bağımsız
Düğümün Algılama Yeteneği	Eşit ve Sabit	Bölgesel Değişken	Rastgele ve Değişken
Kapsama Alanının Bozulma Olasılığı	Yok	Var	Var
Alan Kapsama Performansı	Yüksek	Orta	Değişken
Karmaşıklık Derecesi	Basit	Orta	Karmaşık

Tablo 2.1'de, algılama modellerinin bir karşılaştırması sunulmaktadır. Sonuç olarak kullanılacak algılama modeli belirli uygulama gereksinimlerine ve çevresel koşullara göre seçilmelidir. Basit ve detaylı analiz gereksinimleri olmayan durumlarda Boolean Disk Modeli tercih edilebilir. Elfes ve Gölge Sönümlemesi modelleri daha karmaşık ortamlar ve detaylı analizler için uygun olabilir. Bu tez çalışmasında algılayıcının ilgili noktayı kapsayıp kapsamadığını belirlemek için ***Boolean disk kapsama modeli*** kullanılmıştır.

2.2.3. Merkezi ve Dağıtık Yaklaşımlar

KAA topolojilerinde bağlantı sorunlarını çözmek için merkezi ve dağıtık yaklaşımlar olmak üzere iki temel yöntem bulunmaktadır. Hangi yaklaşımın tercih edileceği uygulama senaryosu, enerji verimliliği ve güvenilirlik gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir.

a) **Merkezi (Centralized) yaklaşım :** KAA'lardaki tüm karar alma süreçlerinin ve kontrolünün bir merkezi istasyonda toplandığı bir yönetim modelini ifade eder. Bu modelde ağdaki tüm algılayıcı düğümlerini kontrol eden, verileri işleyen ve kararlar veren merkezi bir otorite veya ana istasyon bulunur.

b) **Dağıtık (Distributed) yaklaşım :** Karar alma süreçlerinin ve kontrolünün ağdaki çeşitli düğümler arasında dağıtıldığı bir yönetim modelini temsil eder. Bu durumda algılayıcı düğümleri verileri yerel olarak işleyebilir ve kararlar alabilir; bu da daha otonom bir yapı oluşturur. Tercih edilen yaklaşım uygulama senaryosu, enerji verimliliği ve güvenilirlik gibi faktörlere bağlıdır.

2.2.4. Hedef Alan Modelleme

Hedef Alan Modelleme, KAA'ların dağıtım sorununu çözerken düzgün şekle sahip olmayan ve farklı türde engellerin bulunduğu alanlar gibi gerçek dünya koşullarını daha doğru bir şekilde yansıtmayı amaçlar. Mevcut çözümlerin çoğu yalnızca düzlemsel bir perspektifi içerirken, hedef alan modellemesi her hedef alanının benzersiz fiziksel özelliklerini ve çevresel engellerini dikkate alarak daha gerçekçi bir senaryo sunar. Algılayıcı düğümlerinin yerleştirileceği uygun konumları belirlemek için yükseklik, şekil ve engel türü gibi çeşitli faktörleri göz önünde bulundurur. Bu şekilde, algılayıcı düğümlerinin tam 3B konumları belirlenebilir ve ağın kapsama ve bağlantı durumu daha hassas bir şekilde değerlendirilebilir. Bu modelleme KAA'ların etkili bir şekilde dağıtılması için daha optimize edilmiş çözümler geliştirmeyi amaçlar ve mevcut 2B düzlemden daha kapsamlı ve gerçekçi bir bakış açısı sağlar.

Bu çalışmada literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı bir yaklaşım benimsenmiş ve algılayıcı düğümlerinin engeller, göller ve binalar içeren gerçek kampüs haritalarına dağıtılarak daha gerçekçi bir bakış açısı sunulmaya çalışılmıştır.

2.2.5. Değişken Çevre Koşulları

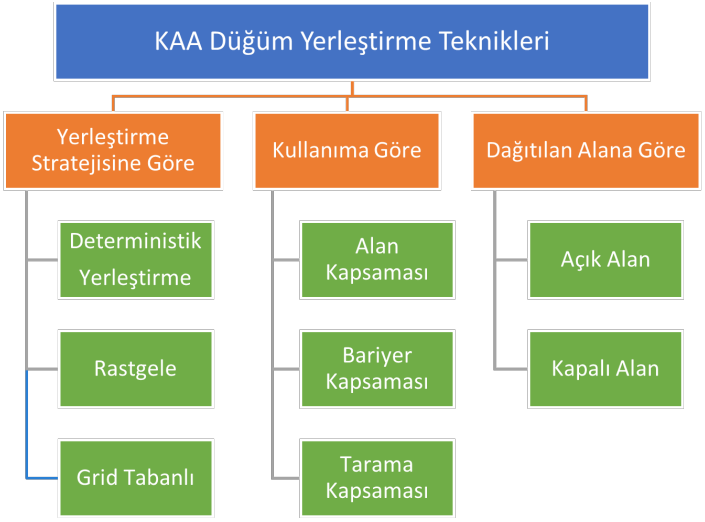
KAA'ların operasyonel alanları sürekli değişen dinamik koşullara sahip olabilir. Bu değişkenlik uygulama alanındaki binalar, nesneler ve engeller gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir ve yine hedef alan değişikliklere uğrayabilir. Yeni yapılar inşa edilebilir (duvarlar ve engeller eklenebilir veya kaldırılabilir), takip edilen nesnelerin alan içindeki konumu değişebilir. Bu modelin temel amacı düğümlerin verimli operasyonlarını sağlamak için KAA'ları sürekli değişen çevresel koşullara uyarlama olanağı sağlamaktır.

Bu çalışma çevresel koşullardaki bu dinamik değişiklikleri dikkate alarak etkili düğüm dağıtımı ve optimizasyonu için daha gerçekçi ve uygulanabilir çözümler sunmaya odaklanmıştır. Bu yüzden geliştirilen yöntemler ile gerçek kampüs haritaları üzerinde uygulanmıştır. Böylelikle çevresel koşullardaki değişikliklere yanıt olarak dinamik bir modelleme yaklaşımı benimsenmiştir.

2.3. Düğüm Dağıtım Metodolojileri

KAA'da kritik konulardan biri de düğümlerin doğru konumlandırılmasıdır. KAA'da düğüm dağıtımı seyrek veya sık dağıtım şeklinde tanımlanabilir. Seyrek dağıtım daha az düğüm sayısı ile maksimum kapsama alanı amaçlar ve daha az maliyetlidir. Sık dağıtım ise önemli uygulama alanları içerisinde çok sayıda düğümün dağıtılması ile sağlanır. Her iki dağıtım için de algılayıcıların aynı alanlar üzerinde, çeşitli optimizasyonların gözetildiği bir senaryo için, birbirleriyle çakışmamaları önemlidir. Bu sebeple literatürde kapsama alanını maksimize edecek çeşitli dağıtım yöntemleri yer almaktadır. Bunlar Şekil 2.7'de sınıflandırılmıştır.

Bu ağların kolay ve hızlı kurulumu, büyük ölçekli ve erişilemeyen alanlara uygun olması, yeterli sayıda düğüm ile iyi kapsama sağlaması gibi önemli avantajları vardır. Ancak rastgele düğüm dağıtımının öngörülemeyen doğası kapsama boşluklarına yol açabilir, optimum ağ bağlantısına ulaşmak zor olabilir ve tam kapsama sağlamak için daha faz-



Şekil 2.7. Düğüm Dağıtım Yöntemlerinin Sınıflandırması

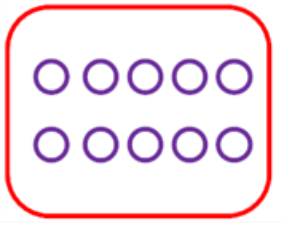
la düğüm gerekebilir. Eldeki düğüm sayısının az, maliyetin düşük ve istenilen alanın garanti kapsanmasının gerektiği durumlarda deterministik dağıtım yöntemi daha verimlidir. Ancak erişimi zor veya kritik alanlar üzerinde algılayıcıların hızlıca yerleştirilmesi istendiğinde, en temel kullanılan teknik rastgele dağıtım tekniğidir. Bu durumda da arazi, bitki örtüsü ve bölgedeki engeller gibi çevresel faktörler algılayıcı düğümlerinin bağlantısallığını ve kapsama alanını etkileyebilir. İncelenen çalışmalarda kapsama alanını artırmak amacıyla düğüm yerleştirme stratejilerine ek olarak bu yöntemlerin sonuçlarının daha iyiye gitmesi için kullanılan optimizasyon yöntemleri içerisinde çoğunlukla evrimsel ve metasezgisel algoritmalardan da yararlanıldığı görülmüştür. [50].

2.3.1. Dağıtım Stratejisine Göre Dağıtım Yöntemleri

Düğüm yerleşimi, kablosuz algılayıcı ağlarının etkinliği ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan stratejik bir konudur. Bu stratejiler algılayıcı düğümlerinin fiziksel olarak nasıl dağıtıldığını ve bu dağıtımın ağın genel kapsamını, bağlantı kalitesini, enerji verimliliğini ve iletişim güvenilirliğini nasıl etkilediğini belirler. Optimal düğüm yerleşimi ağın belirli bir görev veya çevresel koşul altında en iyi performansı göstermesini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

a) Deterministik Düğüm Dağıtımı

Deterministik düğüm yerleşimi Şekil 2.8 'de görüldüğü gibi algılayıcı ağlarda düğümlerin önceden planlanmış veya hesaplanmış konumlara yerleştirilmesi anlamına gelir. Bu yaklaşım genellikle ağın topolojisi, kapsama alanı veya iletişim gereksinimleri gibi faktörlere bağlı olarak düğümlerin sabit konumda tutulmasını sağlar. Deterministik düğüm yerleşimi ağın performansını öngörülebilir kılar ve iletişim maliyetlerini optimize etmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar.



Şekil 2.8. Deterministik Düğüm Dağıtımı

b) Rastgele Düğüm Dağıtımı

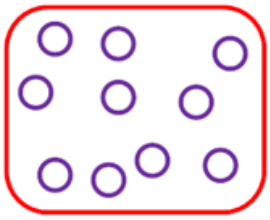
Düğüm dağıtımı 2.9'da görüldüğü gibi herhangi bir model veya kurala bağlı olmaksızın rastgele yapılabilir. Bu yaklaşım düğümlerin yerleştirileceği alanın topografik özelliklerine veya çevresel faktörlere dayalı bir planlama gerektirmez, bu nedenle hızla uygulanabilir ve düşük maliyetli bir yöntem olarak öne çıkar. Ancak bu tür dağıtım kapsama alanının başarımını garanti etmez. Rastgele olarak dağıtılan düğümler bazı bölgelerde düğüm yoğunluğunun artmasına, diğer bölgelerde ise hiç düğüm bulunmamasına neden olabilir. Bu durum kapsama boşluklarının oluşmasına yol açar ve bu boşluklar ağın güvenilir veri toplama kabiliyetini ciddi şekilde azaltabilir.

Rastgele düğüm dağıtımında algılayıcı konumları genellikle belirli bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır. Bu fonksiyon bir alan içindeki belirli bir noktada düğüm bulunma olasılığını ifade eder ve düğümlerin genel dağılımını belirler. Örneğin, eşit olasılıkla tüm alana düğüm yerleştirilecekse bu fonksiyon sabit

bir değer alır. Ancak belirli bölgelerde daha fazla düğüm yoğunluğu isteniyorsa fonksiyon bu bölgelerde daha yüksek değerler alacak şekilde ayarlanabilir.

Rastgele dağıtım yöntemi, özellikle düğüm sayısının fazla olduğu büyük ölçekli ağlarda tercih edilir. Bu tür durumlarda düğümlerin önceden planlanmış bir şekilde yerleştirilmesi hem zaman alıcı hem de maliyetli olabilmektedir. Rastgele dağıtım düğümlerin hızla ve kolayca konumlandırılmasını sağlar, bu da özellikle erişilmesi zor veya tehlikeli ortamlarda büyük bir avantaj sunar.

Buna karşılık rastgele dağıtımının önemli bir dezavantajı da düğümlerin konumlandırılmasında belirli bir kontrol mekanizmasının olmamasıdır. Bu durum düğümlerin konumlarının birbiriyle çakışması (overlap) veya birbirine çok yakın konumlanması riskini artırır, bu da gereksiz enerji tüketimine ve veri iletişiminde çakışmalara neden olabilir. Düğümlerin çakışması aynı verinin birden fazla düğüm tarafından algılanmasına ve gereksiz veri iletimine yol açabilir, bu da ağın genel enerji verimliliğini olumsuz etkiler. Ayrıca bu tür bir çakışma ağın belirli bölgelerinde fazla düğüm yoğunluğu oluşturarak ağın kaynaklarının verimsiz kullanılmasına neden olabilir.

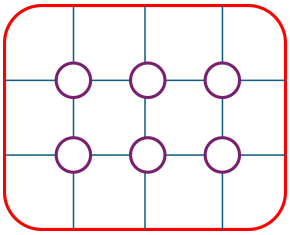


Şekil 2.9. Rastgele Düğüm Dağıtımı

c) Izgara (Grid) Tabanlı Dağıtımı

Alandaki düğümlerin belirli bir düzen içinde Şekil 2.10'de görüldüğü gibi ızgara şeklinde konumlandırılması ile gerçekleştirilir. Örneğin; Hedef alan belirli boyutlarda ızgara şeklinde bölünür, her ızgara noktasına veya hücresine bir düğüm yerleştirilir. Bu düğümler genellikle sabit aralıklarla veya koordinatlarla belirlenir.

Düğümlerin yerleştirilmesi genellikle ağın belirli hedeflere en uygun şekilde ulaşması için optimize edilir. Bu optimizasyon işlemi genellikle matematiksel modeller veya algoritmalar kullanılarak yapılır [18].



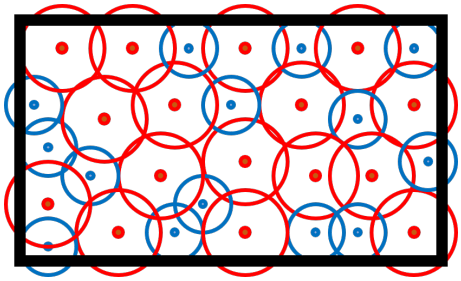
Şekil 2.10. Izgara Tabanlı Düğüm Dağıtımı

Etkin kapsama alanının sağlanması ve ağın enerji tüketiminin optimize edilmesi gibi faktörler göz önüne alındığında deterministik dağıtım öne çıkan bir seçenek olabilir fakat her dağıtım yönteminin kendi içinde avantaj ve dezavantajları vardır. Algılayıcı düğümlerin dağıtılması için kullanılan yöntem hem maliyet hem de kapsama oranı açısından büyük önem taşır.

2.3.2. Kullanım Amacına Göre Dağıtım Yöntemleri

a) Alan Kapsaması

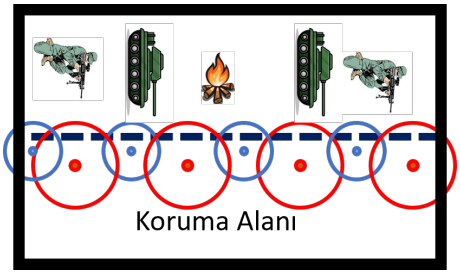
Alan Kapsaması (Area/Blanked Coverage), belirli bir coğrafi alanın algılayıcı düğümler tarafından tam izlenebilir olma durumunu tanımlar. KAA'da yer alan tüm algılayıcıların bağlantısallığını koruyarak Şekil 2.11'de görüldüğü gibi ağın kapsama alanını maksimize etme amaçlı düğüm yerleştirme yöntemidir. Özellikle çevresel izleme, askeri gözetim, tarım ve endüstriyel otomasyon gibi uygulama alanlarında büyük önem taşır.



Şekil 2.11. Alan Kapsaması

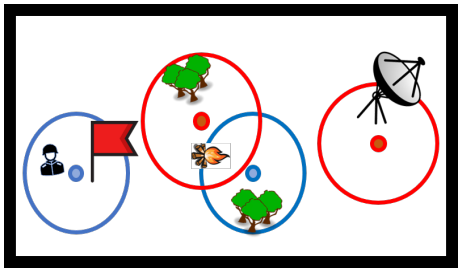
b) Bariyer Kapsaması

Bariyer Kapsaması (Barrier Coverage), algılayıcıların oluşturdukları Şekil 2.12'de görüldüğü gibi belirli bir hattın veya sınırın izlenmesi ve korunması amacıyla kullanılan bir kapsama stratejisidir. Bu strateji belirli bir bölgeye giriş-çıkışları kontrol etmek veya nereden geldiği bilinmeyen tehditlerin tespitini artırmayı amaçlayan yerleştirilme şeklidir. Sınır bölgesinin güvenliği, askeri savunma ve endüstriyel tesislerin çevresel güvenlik uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.



Şekil 2.12. Bariyer Kapsaması

c) Hedef Kapsaması Algılayıcıların Şekil 2.13'de görüldüğü üzere kapsama alanı içerisinde yer alan hareketli tehditleri izleyerek algılama oranını maksimize etmeyi ve hassas bir kapsama alanı amaçlayan yöntemdir. Daha çok gözetim uygulamalarında kullanılır. Arama kurtarma faaliyetlerinde kullanmak adına önemlidir. Örneğin, İnsansız Hava Araçlarından oluşan bir sürü ile belirli bir bölgenin taranarak, bu bölgedeki nesnenin aranması için değerlendirilebilecektir. Önemli olan bu arama faaliyeti sırasında kontrol edilen bölge içerisinde bir boşluk meydana gelmemesidir.



Şekil 2.13. Hedef Kapsaması

2.3.3. Uygulama Alanına Göre Dağıtım Yöntemleri

a) Açık(Outdoor) Alan

Açık alan dağıtımı, geniş kapsama alanlarına ihtiyaç duyulan büyük açık alanlarda kullanılır. Bir evin bahçesi olabileceği gibi, büyük tarım arazileri, ormanlar ve çayırlar gibi geniş doğal ortamlarda, algılayıcı düğümleri rastgele veya adaptif dağıtım stratejileriyle konuşlandırılır.

b) Kapalı(Indoor) Alan

Kapalı alan dağıtımı ise sınırlı alanlarda etkili veri toplamayı hedefler. Binalar, fabrikalar, hastaneler ve alışveriş merkezleri gibi kapalı ortamlarda, algılayıcı düğümleri belirli bir düzen içinde konuşlandırılır. Deterministik dağıtım, ızgara tabanlı dağıtım veya hedefe yönelik konumlandırma gibi stratejiler kullanılarak iç mekân koşullarına uygun ve enerji tasarrufu sağlayan çözümler elde edilebilir. Bu yöntem sınırlı ve belirli bir alanda yoğun veri toplama ihtiyacı olan uygulama alanları için özellikle uygundur.

2.4. Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon, bir sistemin veya sürecin belirli bir hedefi en iyi şekilde gerçekleştirmek için çeşitli değişkenlerin kontrolünü ve düzenlenmesini içeren bir süreçtir. Mühendislik, ekonomi, bilgisayar bilimleri vb. çeşitli disiplinlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Optimizasyon problemleri matematiksel olarak ifade edilir ve genellikle bir veya daha

fazla değişkenin fonksiyonlar aracılığıyla ilişkilendirildiği bir objektif fonksiyonla karakterize edilir. Temel amacı mevcut kaynakları en etkin ve verimli şekilde kullanarak belirli bir hedefe ulaşmaktır. Örneğin, mühendislikte bir tasarımın maliyetini minimize etmek veya performansını artırmak için optimizasyon kullanılabilir.

Günümüzde çözümü zor olan problemlerin çözümü için farklı optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir. Bu problemlerin çözümünde matematiksel ve sezgisel tekniklerden yararlanılmaktadır. Çözüm uzayı geniş olan problemlerde, matematiksel algoritmalar tüm çözüm uzayını taradığı için daha maliyetlidir. Bu tür durumlarda çözüm uzayını sezgisel olarak tarayan ve daha kısa sürede çözüme ulaşan sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Sezgisel algoritmalar, bir problemin çözümünü bulmak için doğru veya en iyi sonucu üretme garantisi vermek yerine genellikle sezgi ve deneme-yanılma yöntemlerini kullanarak çözüm ararlar. Günümüzde temel sezgisel metotların birleşerek daha etkin sonuçlar ortaya koyması amacıyla Metasezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. KAA alanındaki optimizasyon çalışmalarında da genellikle metasezgisel algoritmalar kullanılarak ağın kapsama alanı ve verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır [51, 52].

2.4.1. Metasezgisel Algoritmalar

Metasezgisel algoritmalar, farklı sezgisel veya metasezgisel yöntemlerin bir araya getirilerek yeni bir optimizasyon yaklaşımı oluşturulmasını ifade eder. Bu algoritmalar temel sezgisel algoritmalara göre optimum çözüme daha hızlı ulaşma ve yerel optimum noktalara takılmadan global sonuca ulaşabilme yeteneğine sahiptir. Bu tür algoritmalar, farklı optimizasyon yöntemlerinin avantajlarını birleştirerek daha etkili bir çözüm elde etmek için kullanılır [51, 52]. Literatürde sıklıkla kullanılan başlıca metasezgisel algoritmalar şunlardır: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization), Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) vb. olarak sıralanabilir.

2.4.2. Evrimsel Algoritmalar

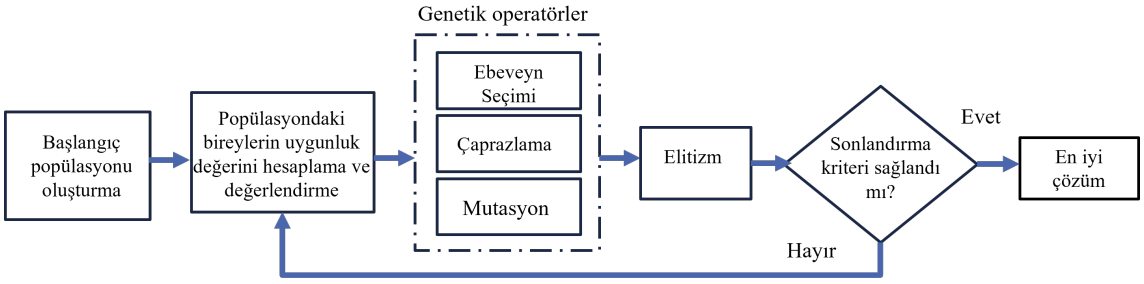
Evrimsel algoritmalar, yapay zekanın evrimsel hesaplama kolu içerisinde yer almaktadır. Çözümlenmesi zor veya karmaşık olan problemlerin çözümünde geleneksel yöntemlerin yerine kullanılan, biyolojik evrim süreçlerinden esinlenerek doğadaki en iyiye ulaşma ilkesine göre tasarlanmış optimizasyon ve problem çözme algoritmalarıdır. Bu algoritmalar doğal seçilim, çaprazlama, mutasyon ve popülasyon dinamikleri gibi evrimsel kavramları kullanarak çözüm alanını araştırır ve en iyi çözümü bulmaya çalışır.

Evrimsel hesaplama konsepti ilk olarak I. Rechenberg'in "Evrim Stratejileri" kitabında ortaya atılmıştır ve bu kavram daha sonra diğer araştırmacıların dikkatini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland, evrimsel süreçlerin bilgisayarlara çözüm yöntemlerini öğretebileceğini savunmuş ve bu fikirden yola çıkarak evrimsel algoritmalar geliştirmiştir. 1975 yılında yayınladığı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" adlı kitabıyla bu algoritmaları geniş bir kitleye tanıtmıştır [53, 54].

2.4.3. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma, yapay zekanın en hızlı gelişen bir dalı olan evrimsel algoritmalardan biridir. Optimizasyon problemlerinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan bu algoritma, John Holland tarafından öne sürülmüş olup, Darwin'in evrim teorisinden ilham alınarak geliştirilmiştir [55].

Bu algoritma, genetik operatörler sayesinde en iyi çözümü arar. GA çalıştırılmadan önce problemin parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler algoritmanın performansına ve doğru sonuçlar vermesine doğrudan katkı sağlar. Bunlar; kromozom yapısı, başlangıç popülasyonunun sayısı, seçilim yöntemi, çaprazlama operatörü, çaprazlama oranı, mutasyon operatörü, mutasyon oranı ve nesil sayısıdır.



Şekil 2.14. GA Akış Diyagramı

GA ile bir probleme ait çözüm kümesi oluşturabilme süreci Şekil 2.14'te görüldüğü gibi kromozomlarla temsil edilen problem için olası çözümlerin bulunduğu başlangıç popülasyonun oluşturulması ile başlar. Bu yöntem klasik yöntemlerden farklı olarak çok daha fazla sayıda olası çözümü keşfetmeyi mümkün kılar. Bu aşamadan sonra her bir kromozom için problemin uygunluk değeri hesaplanır. Sonrasında ise yeni çözümler üretmek için kromozomlara evrimsel operatörler olan; seçilim, çaprazlama ve mutasyon uygulanır. Bu operatörler problemin çözümüne başlamadan önce belirlenen parametreler ile iterasyon sayısı veya sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar sürekli yeni çözümler üreterek problem için daha uygun çözümler arar.

Ayrıca çözümlerde GA'nın performansını artırmak ve iyi çözümleri kaybetmemek için elitizm yöntemi kullanılır. Bu yöntem en iyi değere sahip birey ya da bireylerin sonraki popülasyonda temsil edilmesini garanti eder. Art arda yapılan işlemler sonucunda algoritma, problemin çözümünü sonlandırır. İterasyon sonunda elde edilen popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom, problemin çözümü olarak kabul edilir. GA genellikle düğüm konuşlandırma, görev planlama, rota optimizasyonu ve kaynak tahsisi gibi karmaşık optimizasyon sorunlarını çözmek için kullanılır [56, 57].

a) Kromozom

GA'da problem çözmenin ilk aşaması başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Popülasyon, potansiyel çözüm adaylarının bir araya geldiği bir topluluktur; yani çözümlerin yer aldığı bir koleksiyondur. Her bir potansiyel çözüm adayı, genetik materyalin temel birimi olan ve kromozomlar aracılığıyla kodlanan bir bireyi temsil eder.

Kromozomlar genetik algoritmanın temel yapı taşlarıdır; genlerin bir araya gelmesiyle oluşan ve bireyi temsil eden yapısal birimlerdir. Her gen bireyin karakterini ve özelliklerini belirler. Kromozomlar, problemdeki değişkenlerin değerlerini belirten bir dizi genetik bilgiyi içerir ve problem uzayına bağlı olarak değişir. Örneğin; bir rotalama problemi için kromozomlar, uğranılması istenen şehirlerin bilgilerini içerirken, sıralama problemi için sıralanacak öğelerin bir dizisini içerebilir. GA'da tanımlanan bireyler, doğadaki organizmalardan farklı olarak tek bir kromozomdan oluşur [58].

Kromozom yapısı GA performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir, doğru bir şekilde oluşturulmaları ve yapılandırılmaları, algoritmanın etkinliği için kritik rol oynar. Ayrıca uygun bir çaprazlama ve mutasyon operatörü ile doğru kromozom yapısı, genetik algoritmanın çözüm alanında gezinme ve çeşitliliği koruma yeteneğini artırabilir. Bu da daha iyi ve daha tutarlı sonuçlar elde etme olasılığını artırır.

b) Başlangıç Popülasyonu

Popülasyonda bulunan birey sayısı yani popülasyon büyüklüğüdür. Bu değer gereğinden fazla ise çözüm süresi uzar, az ise de istenilen sonuca ulaşılamaz. Problemin çözümü için başlangıç popülasyonun sayısı iyi belirlenmelidir. Ayrıca doğru çözüme ulaşılabilmesi için kromozomların nasıl kodlanacağı da önem arz eden bir konudur. Kromozomların kodlanması, problemin doğası ve gereksinimlerine bağlı olarak farklı şekillerde yapılmaktadır;

- **İkili (Binary) Kodlama**: Genlerin sadece 0 ve 1 değerleriyle temsil edildiği bir kodlama yöntemidir. Genellikle kategorik veya ayrık arama uzayına sahip problemlerin çözümünde kullanılmaktadır ve en çok kullanılan yöntemlerdendir.

- **Gerçek Değer(Reel) Kodlama:** Genlerin gerçek sayılarla temsil edildiği, genellikle daha doğru ve hassas sonuçlar elde etmeye olanak sağlayan bir kodlama yöntemidir. Özellikle optimizasyon problemlerinde, gerçek değer kodlama ile GA'lar daha etkili sonuçlar vermektedir, bu yöntem genellikle sürekli arama uzayları için kullanılmaktadır.

- **Permütasyon Kodlama:** Bu kodlama yöntemi sıralama veya düzenleme problemleri için uygundur. Özellikle Gezgin Satıcı Problemi gibi problemlerin çözümü için kullanılmaktadır.

Bu kodlama yöntemleri genetik algoritmanın başarı oranını ve çözüm kalitesini etkiler. Doğru kodlama yönteminin seçilmesi problemi doğru bir şekilde temsil etmek ve algoritmanın verimliliğini artırmak için önemlidir [56].

c) Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu, bir optimizasyon problemindeki çözümlerin kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir metriktir. Her problemde uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılan formül farklılık gösterebilir. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonunun temel amacı, KAA'nın kapsama alanını artırmak için en iyi ve en uygun kromozomun seçilmesini sağlamaktır. Uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar, yeni kromozomların oluşturulması için daha fazla öncelik kazanır. Bu şekilde, bireylerin gelecek nesillere aktarılma olasılığı ve hayatta kalma şansı belirlenir. Uygunluk fonksiyonu her bir kromozomun performansını objektif bir şekilde değerlendirir ve genetik algoritmanın optimizasyon sürecinde doğru yönlendirme sağlar.

d) Seçilim

Başlangıç popülasyonundaki bireylerden yeni bireyler üretilebilmesi için ebeveyn bireyler seçilir ve bunlara genetik operatörler uygulanarak bunlardan daha iyi yeni çözümler aranır. Genetik algoritma teorisine göre en uygun bireylerin yaşamını sürdürmesi ve bu bireylerden yeni bireylerin oluşturulması önemlidir. Bu nedenle tüm seçilim yöntemleri için uygunluk değeri yüksek olan bireylerin diğer bireylere göre seçilme olasılığı yüksektir. En yaygın kullanılan seçilim yöntemleri arasında Rulet Seçilimi, Turnuva Seçilimi ve Sıralı Seçim bulunmaktadır [55–57].

- **Rulet Seçilimi:** Bu yöntemde, her bireyin seçilme olasılığı bireyin uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak belirlenir. Rulet seçilimi adını bir rulet tekerleği prensibinden alır. Rulet tekerleğindeki her alan bireylerin uygunluk değerine göre belirlenen seçilim olasılıklarını temsil eder. Yüksek uygunluk değerine sahip bireyler daha geniş bir alana sahip olur ve dolayısıyla seçilme olasılıkları daha yüksek olur. Böylece, seçim işlemi bu olasılıklar doğrultusunda rastgele gerçekleştirilir. Bu yöntem sayesinde yüksek uygunluk fonksiyonuna sahip bireylerin seçilme şansı daha fazla olmakla birlikte, düşük uygunluk fonksiyonuna sahip bireylerin de seçilme şansı vardır.

- **Sıralı Seçilim:** Popülasyondaki bireyler uygunluk değerlerine göre en kötüden en iyiye doğru sıralanır. Daha sonra bu sıralamaya göre her bir bireyin seçilme olasılığı hesaplanır ve seçim yapılır.

- **Turnuva Seçilimi:** Turnuva seçimini gerçekleştirmek için öncelikle popülasyondan N adet birey rastgele seçilir ve bu seçimlerin toplam sayısına turnuva büyüklüğü denir. Seçilen bireyler arasında bir turnuva düzenlenir ve bu turnuvanın sonunda en iyi uygunluk veya amaç fonksiyonuna sahip olan birey, kabul edilen en iyi birey olarak seçilir ve yeni popülasyona eklenir. Bu süreç Denklem 2.3'te görüldüğü gibi matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$Fitness(I_t) = maxFitness(I_x) \Leftarrow x = 1, 2, 3...N \tag{2.3}$$

e) Çaprazlama

Çaprazlama (crossover) işlemi, GA'da popülasyondaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerden yeni çözümler türetmek için kullanılan temel operatörlerden biridir. Bu süreç biyolojik evrimdeki genetik kombinasyonları taklit eder ve arama uzayının farklı noktalarında bulunan kromozomların belirli bölümlerinin karşılıklı olarak yer değiştirmesini sağlayarak aramayı daha önce ziyaret edilmeyen farklı bölgelere taşır. Böylece iki yeni birey (çözüm) oluşur.

Mevcut popülasyon içerisinde çaprazlamaya tabi tutulacak kromozom sayısı çaprazlama oranı (P_c) ile belirlenir. Bu oran genellikle [0.5, 1.0] aralığında belirlenir. Çaprazlama oranı popülasyonun yenilenme hızını ve genetik çeşitliliğini doğrudan etkiler. Yüksek bir çaprazlama oranı daha fazla sayıda yeni bireyin oluşturulmasını sağlar, bu da genetik çeşitliliği artırır. Düşük çaprazlama oranı ise mevcut çözümlerin korunmasına ve daha stabil bir evrim sürecine olanak tanır. Tek noktalı, n-noktalı ve uniform çaprazlama literatürde yaygın olarak kullanılan çaprazlama operatörleridir [59, 60].

- **Tek Noktalı Çaprazlama:** Bu yöntemde [0, L-1] (L; kromozomun boyutu) aralığında rastgele bir sayı seçilir. Ardından ebeveyn olarak seçilen iki kromozom bölünerek, başlangıç ve son bölümlerin yer değiştirilmesiyle iki yeni çocuk kromozomun oluşturulması sağlanır.

- **N-Noktalı Çaprazlama:** İki ebeveyn kromozomun rastgele seçilen birden fazla noktadan kesilerek, ikisinden de alternatif kısımların alınmasıyla yeni bireyler oluşturulur.

- **Uniform Çaprazlama:** Bu yöntem, genetik materyalin ebeveyn bireyler arasında belirli bir desen veya düzen olmaksızın rastgele bir şekilde değiştirildiği bir süreçtir. Uniform çaprazlama diğer çaprazlama yöntemlerine göre daha fazla

genetik çeşitlilik sağlayabilir. Mevcut popülasyondan seçilen ebeveynlerde çaprazlama yaparken her gen pozisyonu için bir maske oluşturulur. Bu maske ilgili genin hangi ebeveynden alınacağını belirler. Örneğin; İkili kodlanmış bir kromozom için oluşturulan maske, her gen için 0 veya 1 değerini alır, bu durum her gen için bağımsız olarak belirlenmektedir. "0" değeri ilgili genin birinci ebeveynden alınacağını, "1" değeri ikinci ebeveynden alınacağını belirler.

- **Simule Edilmiş İkili Çaprazlama (Simulated Binary Crossover):** Simule Edilmiş İkili(SBX), gerçek değerli (real coded) genetik algoritmalarda kullanılan bir çaprazlama yöntemidir. SBX gerçek değerli kodlanan uygulamalarda, ikili (binary) kodlanmış tek noktalı çaprazlama operatörünün davranışını simüle eden bir çaprazlama operatörüdür.

- **BLX-α Çaprazlama (Blended Alpha Crossover):** Gerçek değerli genetik algoritmalarda genetik çeşitliliği artırmak ve optimizasyon problemlerinde daha iyi çözümler elde etmek için kullanılan etkili bir çaprazlama yöntemidir. Ebeveynlerin genetik bilgilerini belirli bir aralıkta karıştırarak yeni bireyler oluşturur ve bu süreçte kullanılan α hiperparametresi ile arama alanının genişliği kontrol edilebilir. Hiperparametreler, modelin veya algoritmanın nasıl öğrenileceğini veya uyarlanacağını yönlendiren değerlerdir. Genellikle $0 < \alpha < 1$ aralığında bir değer alır. Bu yöntem, arama alanında daha geniş bir keşif yapılmasına olanak tanır ve böylece daha iyi çözümler elde edilebilir.

f) Mutasyon

Mutasyon, popülasyonda genetik çeşitlilik sağlamak ve yerel maksimumlardan kaçınmak için kullanılan bir operatördür. Çaprazlama sonucunda oluşan yeni kromozomların genlerinin rastgele küçük miktarlarda değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilmesini sağlar. Mutasyon, çaprazlama sonrası oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önleyerek, algoritmanın daha geniş bir arama alanını keşfetmesini ve potansiyel olarak daha iyi çözümlere gidebilmesini sağlar. Popülasyondaki her bireye mutasyon

yapılmaz, bunun yerine belirli bir olasılıkla (P_m) gerçekleştirilir. Bu olasılık literatürde genellikle %1 veya %5 gibi düşük tutulmaktadır. Literatürde yer alan başlıca mutasyon operatörleri şunlardır;

- **Ekleme Mutasyonu (Insertion Mutation):** Bu mutasyon türü, kromozomda yer alan bir genin bulunduğu konumdan çıkarılıp, başka bir konuma eklenmesi ile gerçekleştirilir. Bu sayede genetik dizilimde küçük ama potansiyel olarak etkili değişiklikler yapılmış olur.

- **Takas Mutasyonu (Swap Mutation):** Ebeveyn olarak seçilmiş olan bireyin genlerinden iki tanesinin kendi aralarında yerlerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Genellikle permütasyon problemlerinde (örneğin, gezgin satıcı problemi) kullanılır.

- **Ters Çevirme Mutasyonu(Inversion Mutation):** Kromozomun belirli bir bölümünün seçilip, ters çevrilmesi ile gerçekleştirilir. Permütasyon problemlerinde sıkça kullanılır.

- **Scramble Mutasyon:** Kromozomun rastgele bir parçasının seçilip, o parçanın kendi içerisinde yeniden sıralanması ile gerçekleşir.

- **Uniform Mutasyonu:** Kromozomdaki genlerin belirli bir aralıkta rastgele seçilen yeni bir değerle değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Genellikle gerçek değerli genetik algoritmalarda kullanılır.

- **Nonuniform Mutasyon:** Bu mutasyon türü, zamanla mutasyonun şiddetini azaltarak çözümün hassasiyetini artırır. Algoritmanın ilk başlarında büyük değişiklikler yaparken, ilerleyen aşamalarda daha küçük değişiklikler yapılmasını sağlar.

g) Elitizm

Elitizm, genetik algoritmaların önemli özelliklerinden biridir. Bu strateji en iyi performans gösteren bireylerin herhangi bir değişikliğe uğramadan bir nesilden diğerine taşınmasını sağlayarak, optimal çözümlerin korunmasını ve popülasyonun kalitesinin artırıl-

masını hedefler. Elitizm, optimizasyon sürecinin her aşamasında en iyi çözümlerin tutulmasını sağlayarak, algoritmanın hızlı bir şekilde en iyi sonuçlara yaklaşmasına yardımcı olur. Bu sayede genetik algoritmaların başarı şansını artırırken, aşırı elitizmin genetik çeşitliliği azaltabileceği ve dolayısıyla popülasyonun keşfetme yeteneğini sınırlayabileceği unutulmamalıdır. Elitizmin dengeli bir şekilde uygulanması, genetik algoritmaların etkinliği için hayati öneme sahiptir [61].

h) Sonlandırma Kriteri

Algoritma sonlandırma kriterleri, algoritmanın sonlandırılması gereken koşulları tanımlar. Bu kriterler belirli bir hedefe ulaşmak, hesaplama süresini sınırlamak veya kaynakları verimli kullanmak amacıyla kullanılır. İdeal bir sonlandırma kriteri algoritmanın yeterince optimize olduğunu belirtmeli ve işlem kaynaklarının aşırı tüketilmesini önlemelidir.

Genetik algoritmanın sonlandırılması, çözümün kalitesi ve algoritmanın verimliliği açısından büyük önem taşır. Her problem ve uygulama farklı olduğu için, en uygun sonlandırma kriterini seçmek; problemin doğasına, çözüm uzayının yapısına, mevcut hesaplama kaynaklarına ve optimizasyon hedeflerine bağlıdır. Literatürde GA'yı sonlandırmak için kullanılan çeşitli kriterler vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir [6]:

- **İterasyon (Nesil) Sayısı**: GA genellikle popülasyonu bir döngü içinde evrimleştirir. Belirli bir nesil sayısından sonra algoritmayı durdurmak, öngörülebilir sonuçlar elde etmek ve sürekli işlemi önlemek için bir kriterdir. Hesaplama süresini kontrol etmesi açısından avantajlıdır, ancak belirtilen nesil sayısı her zaman optimum çözüme ulaşamayabilir, bu sebeple probleme uygun şekilde belirlenmelidir.

- **Hedef Değerin Elde Edilmesi**: Belirli bir hedef değere ulaşıldığında algoritma sonlandırabilir. Bu kriter, belirli bir hedefe çalışan algoritmalar için yaygın olarak kullanılır. Çözüm kalitesini garanti eder, ancak hedef uygunluk değerini belirlemek zor olabilir.

- **Uygunluk Eşiği**: Algoritma, elde edilen çözümlerin uygunluk değerleri belirli bir eşiğin altına düştüğünde veya belirli bir uygunluk seviyesine ulaştığında algoritma sonlandırılabilir. Optimizasyon sürecinin doygunluğa ulaştığını garanti eder, ancak yerel optimumda takılı kalma riski vardır.

- **Durağanlık Sonlandırma**: Algoritma, ardışık nesiller arasında önemli bir değişiklik olmadığında sonlandırılabilir. Durağanlık Sonlandırma, genetik algoritmanın gereksiz yere çalışmasını ve hesaplama kaynaklarının israfını önler. Bu kriter, popülasyonun çözüm uzayında yeterince iyi bir çözüm bulduğunu ve daha fazla iterasyonun önemli bir iyileşme sağlamayacağını gösterir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Günümüzde kablosuz haberleşme sistemlerinde özellikle KAA'larda kapsama alanını artırmak, ağ performansını ve veri iletim verimliliğini yükseltmek adına önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında düzenli ve düzgün olmayan arazilerde kablosuz algılayıcı ağlarının performansını değerlendirmek ve modellemek için gerçek dünya senaryolarını doğru bir şekilde simüle etmek amaçlamaktadır. Düzenli alanlar genellikle düzgün bir yapı veya simetriye sahip alanları ifade eder. Örneğin kare, dikdörtgen veya düzenli geometrik şekillere sahip bir alan düzenli olarak adlandırılabilir. Düzgün olmayan ise; sınırları düzgün olmayıp girintili çıkıntılı olabilen, belirli bir yapı veya deseni takip etmeyen alanları ifade eder.

KAA'lar genellikle düzenli ve engelsiz alanlarda kurulurken, gerçek dünya uygulamaları genellikle yapılarla ve engellerle dolu düzgün olmayan alanlar için tasarlanır. Bu araştırma KAA'ların bu tür düzgün olmayan ortamlarda nasıl çalıştığının daha iyi anlaşılmasına, bu koşullara özel olarak uyarlanmış modellerin geliştirilmesine ve bu modellerde kapsama alanının artırılmasına odaklanmıştır.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda daha iyi çözümlere ulaşmanın rastgele veya geleneksel yöntemlerle zor olduğu, mutlaka evrimsel algoritmalardan yararlanılması gerektiği anlaşılmıştır [6, 62]. Bu bağlamda tez sürecinde, Genetik Algoritma ve önerilen Titreşimsel Genetik Algoritma yaklaşımlarından yararlanılarak kapsama alanının artırılması konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında farklı düğüm dağılım stratejileri ve bu stratejilerin ağ kapsamasına etkileri üzerinde durulmuştur. Özellikle 2B düzgün ve düzgün olmayan alanlarda hem homojen hem de heterojen düğümlerin rastgele dağıtımı ile MATLAB 'de oluşturulan simülasyon ortamlarında farklı hedef alanlar ve farklı düğüm çeşitleri kullanılarak oluşturulan senaryolar üzerinden kapsama alanı artırma problemleri ele alınmış ve genetik

algoritmaların bu problemleri nasıl çözdüğü incelenmiştir.

Ancak çalışmanın özgün katkısı burada ortaya çıkmaktadır. Geleneksel genetik algoritmaların kapsama artırma konusundaki performansını daha da ileri taşımak amacıyla Titreşimsel Genetik Algoritma (Vibrational Genetic Algorithm - TGA) adı verilen yeni bir yaklaşım önerilmiştir [6, 62]. Bu yöntem klasik genetik algoritmanın evrimsel süreçlerine belirli titreşim bileşenleri ekleyerek, algoritmanın yerel minimumlara sıkışma olasılığını azaltmayı ve daha geniş bir çözüm uzayını tarayabilmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın bundan sonraki sürecinde sistemin tasarımı için uygun parametrelerin deneysel çalışmalar ile belirlenmesi ve sonrasında bu parametrelere ve ilgili kavramlara göre düğümlerin rastgele olarak dağıtılmasına odaklanılmıştır.

Kapsama alanını artırmaya yönelik yapılan çalışmalar için öncelikle hızlı sonuç verecek bir kapsama alanı hesaplama yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Kapsama alanının matematiksel olarak hesaplanması, üç ve üzeri düğümün çakışması durumunda oldukça zordur. Bunun için görüntü işleme yöntemi ile kapsama alanı hesaplama çalışmaları yapılmış ancak hesaplama süresinin uzun olması sebebiyle yeni yaklaşımlar araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda yine bu çalışmada "Nokta Sayma Metodu" adı verilen yeni bir kapsama alanı ölçme metodu önerilmiştir.

3.1. Kapsama Alanının Hesaplanması

Çalışmanın bu kısmında kapsama alanının en doğru şekilde hesaplanabilmesi için gerekli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle belirlenen farklı boyutlardaki alanlara, farklı çaplarda algılayıcı düğümler deterministik(düzenli) yerleştirme yöntemi ile algılayıcıların birbirini kesmeyecek (overlap yapmayacakları) şekilde dağıtılmıştır. Rastgele dağıtım yönteminde ise algılayıcı düğümlerin birbirlerini kesmesi yani kapsama alanlarının çakışması ihtimali yüksektir. Üç ve üçten fazla düğümün kesişmesi durumunda, kapsama alanının sayısal yöntemler ile hesaplanması oldukça zordur [1-2]. Bu sebeple bu çalışmada algılayıcıların kapsama alanlarının hesaplanması için iki farklı metot kullanılmıştır:

Birincisi literatürde sıkça yer alan ve birçok problemin çözümünde kullanılan görüntü işleme yöntemi, ikincisi ise bu çalışmada önerilen bir kapsama alanı hesaplama yöntemi olan nokta sayma yöntemidir.

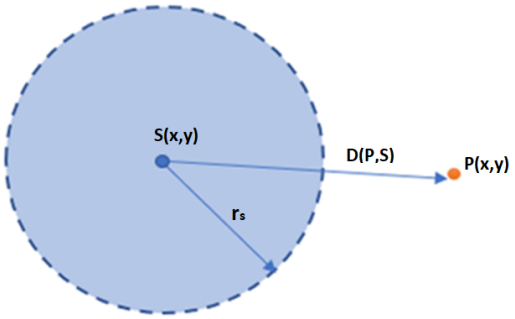
3.1.1. Görüntü İşleme Yöntemi

Görüntü işleme, dijital ortama aktarılmış görsel ve videolar üzerinde bilgisayar tabanlı algoritmalar kullanılarak çeşitli işlemler yapılmasıdır. Bu işlemler, genellikle görüntüyü iyileştirme, analiz etme, tanıma, anlama veya üzerinde değişiklik yapma gibi farklı amaçlara hizmet eder. Matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılarak, bilgisayar programları aracılığıyla görüntülere uygulanan bu yöntem, sağlık, mühendislik, güvenlik vb. gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır [63].

3.1.2. Nokta Sayma Yöntemi

Nokta Sayma Yöntemi, bu çalışmada önerilen özgün bir kapsama alanı hesaplama yöntemidir. Kapsama alanı analizi için; literatürde yer alan bazı çalışmalarda az sayıda ve hedef olarak atılan noktalardan; bu yöntemde çok sayıda rastgele atılarak hedef alanın doldurulması amaçlanmıştır [64–67]. Böylece dağıtılan düğümlerin kapsadığı alanın hesaplaması için, bu noktaları kapsayıp kapsamadığı değerlendirilerek; kapsama alanı ölçülmektedir. Bu yöntemin hem işlem kolaylığı sağladığı, hem de görüntü işleme tekniğine göre hesaplama süresini kısalttığı gözlemlenmiştir.

Nokta Sayma yönteminde, kapsama alanı şu şekilde ele alınır; Bir hedef alan içerisinde $i = \{1, 2, ...n\}$ olmak üzere, ağdaki her düğümün koordinatları (x_i, y_i) ile tanımlanmış $S = \{S_1, S_2, ...S_n\}$ algılayıcı kümesi verilmektedir. Her bir algılayıcının algılama aralığı r_s ile tanımlanırken, (x, y) konumunda bulunan bir algılayıcının kapsama alanı ise Cr_i ile tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1. Bir S düğümünün $D(P,S)$ mesafedeki bir P noktasını kapsama durumu

Şekil 3.1 ağda yer alan bir S düğümünün, bir P noktasının kapsama durumunu ifade etmektedir. Denklem 3.1'den de görüldüğü gibi düğüm ile hedef nokta arasındaki mesafenin $D(S,P)$, algılayıcının r_s'sinden küçük veya büyük olmasına göre değerlendirilmektedir. Aradaki mesafe r_s değerine küçük veya eşit ise nokta kapsama alanındadır, aksi durumda ise P düğüm tarafından algılanamamaktadır. D mesafesi, Denklem 3.2'te görülen koordinatları belli olan iki noktanın birbirine olan uzaklığı Öklid mesafesi formülü ile hesaplanmaktadır [62].

$$C(P,S) = \begin{cases} 1, & D(P,S) <= r_s \\ 0, & D(P,S) > r_s \end{cases} \tag{3.1}$$

$$D(P,S) = \sqrt{(Px - Sx)^2 + (Py - Sy)^2} \tag{3.2}$$

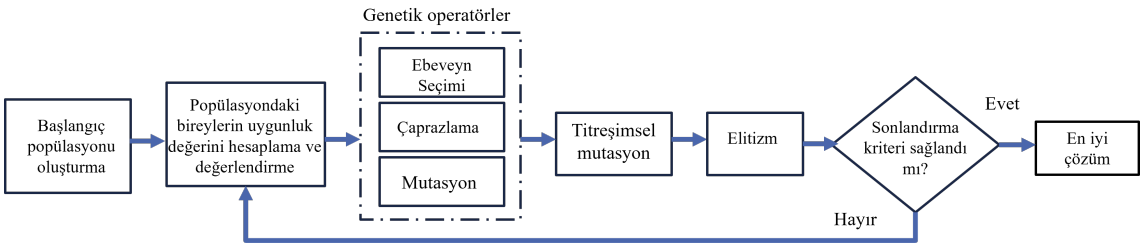
Çok sayıda algılayıcı ile oluşturulan bir KAA'da, düğümlerin kapsama alanlarının diğer düğümlerın alanları ile ile kesişmeden (örtüşmeden) kapsayacağı toplam alan, bir önceki bölümde yer alan Denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.

3.2. Titreşimsel Genetik Algoritma Yaklaşımı

TGA), genetik algoritmaların bir türüdür. TGA, genetik algoritmaların temel prensiplerini kullanırken, çözüm alanındaki çeşitliliği artırmak için bir titreşim mekanizması entegre eder. Bu titreşim mekanizmasının amacı, çözüm alanındaki çeşitliliği artırmaktır. Genetik algoritmaların bir dezavantajı, popülasyonun belirli bölgelerde sıkışıp kalması, yani yerel maksimum veya minimum noktalara takılmasıdır. Bu durumda, algoritmanın daha geniş bir çözüm alanını keşfetmesi zorlaşabilir ve en iyi çözüm bulunamayabilir. TGA, bu sorunu aşmak için titreşim mekanizmasını kullanır.

Titreşim mekanizması, genetik operatörlerin uygulanması sırasında düğüm pozisyonlarına küçük titreşimler ekleyerek çalışır. Bu küçük değişiklikler, popülasyonun belirli bir bölgeye yoğunlaşmasını önler ve bireylerin çözüm alanında daha geniş bir bölgeye yayılmasını sağlar. Bu, algoritmanın daha çeşitli çözümleri keşfetmesine olanak tanır ve potansiyel olarak daha iyi sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunur [6, 68].

TGA'nın temel prensipleri, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi bir başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk değerlerinin değerlendirilmesi, ebeveynlerin seçilmesi, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlerin uygulanması ve uygunluk değerlerine dayalı olarak yeni bireylerin popülasyona eklenmesini içerir. TGA'da, çaprazlama veya mutasyon aşamasında uygulanan titreşimler ile çeşitlilik artırılır ve yerel optimumdan kaçınma sağlanır.

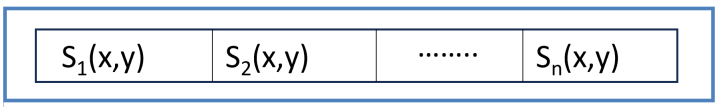


Şekil 3.2. TGA Akış Diyagramı

3.2.1. Kromozom Tasarımı

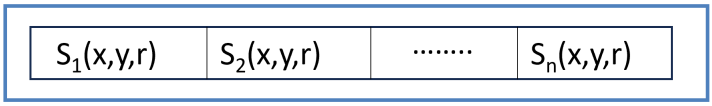
GA ile problem çözmenin ilk basamağı, popülasyonun oluşturulmasıdır. Popülasyon, olası çözümlerin bir arada bulunduğu yapılardır. Her olası çözüm kümesi bir kromozom(birey) ile ifade edilir. GA içinde kromozom oluşturma süreci, problem uzayına ve çözülecek problem türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. KAA dağıtım optimizasyonu için tasarlanmış kromozom, algılayıcı düğümlerinin konumlarını ve parametrelerini temsil eden bir yapı içermelidir. Kromozom oluşturma süreci, genellikle alanın geometrisine, boyutuna veya diğer parametrelerine göre rastgele oluşturulabilir. Bu noktadan sonra, genetik algoritmanın diğer aşamaları (çaprazlama, mutasyon, seçim) kullanılarak kromozomlar geliştirilebilir ve iyileştirilebilir. Bu süreç, KAA'nın optimize edilmiş bir dağıtımını elde etmeyi amaçlar, bu da ağın enerji verimliliği, kapsama alanı ve iletişim güvenilirliği gibi faktörlerin optimize edilmesini içerir [59, 60].

Bu çalışmada hem homojen hem heterojen düğümler kullanılarak farklı problem senaryolarında deneyler yapılmıştır. Bu sebeple problemi optimize etmek için iki farklı kromozom tasarlanmıştır. Tasarlanan kromozomların uzunluğu; hedef alana dağıtılacak algılayıcı düğüm sayısı kadardır. Algılayıcı düğümlerin homojen yapıda olduğu senaryolarda düğümlerin r_s'leri aynıdır. Bu problemde GA, algılayıcı düğümlerin yerleşimiyle ilgilendiği için kromozomlarda düğümlerin konumları $s_i = (x_i, y_i)$ bilgileri yer almaktadır. Şekil 3.3'de sunulan kromozom bilgileri, GA'da gerçek sayı kodlama yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.3. Homojen KAA Kromozom Yapısı

Çalışmada, heterojen düğümlerle yapılan simülasyonlarda düğümlerin r_s (algılama yarıçapı) değerleri birbirinden farklıdır. Bu durumlarda, Şekil 3.4'te verildiği gibi kromozomlar her düğümün konumunu ve r_s'leri ayrı ayrı saklanmaktadır.



Şekil 3.4. Heterojen KAA Kromozom Yapısı

3.2.2. Başlangıç Popülasyonu

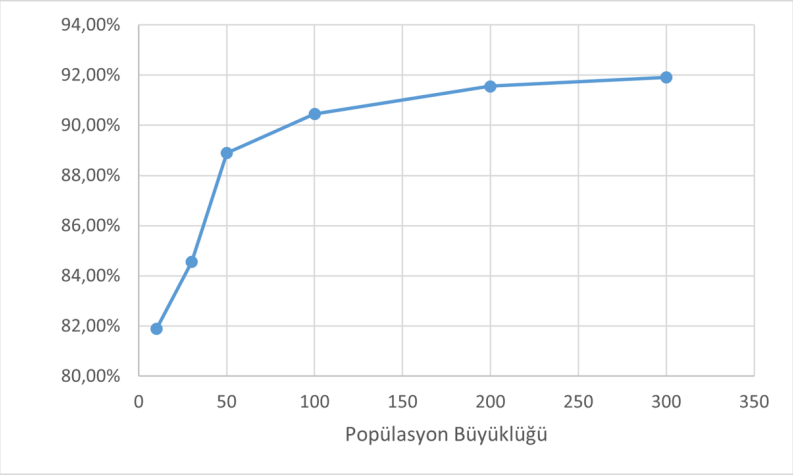
Başlangıç popülasyonu, GA'nın çözüm arayışına başladığı ilk bireyler topluluğudur. GA'nın etkinliği, popülasyon boyutuna bağlıdır. Genetik çeşitliliği korumak ve artırmak için uygun bir popülasyon büyüklüğüne sahip olmak önemlidir. Popülasyon büyüklüğünün çok küçük seçilmesi çeşitliliği azaltırken, çok büyük seçilmesi de işlem yükünü artırabilir. Genellikle popülasyon boyutu, problemin karmaşıklığına ve mevcut hesaplama kaynaklarına bağlı olarak belirlenir.

Bu çalışmada kullanılacak popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi için çeşitli parametreler ile deneyler yapılarak popülasyon büyüklüğü ile uyguluk değeri arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi popülasyon büyüklüğünün 100 değerine kadar ciddi anlamda performansa etkisi var iken, sonraki değerlerinde popülasyon arttıkça uygunluk değeri artsa da etkisinin biraz daha azaldığı gözlemlenmektedir. Bu sebeple hesaplama süresinin artmaması açısından popülasyon büyüklüğü hesaplama süresini artırmamak amacıyla büyük seçilmeyerek, 100 olarak belirlenmiştir.

3.2.3. Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu, genellikle bir optimizasyon veya problem çözme algoritmasında kullanılan bir ölçüttür. Bu fonksiyon, bir çözümün ne kadar iyi olduğunu veya belirli bir problemde ne kadar başarılı olduğunu belirlemek için kullanılır.

Tez çalışmasında kapsamında önerilen TGA yaklaşımının uygunluk fonksiyonu basamağında, "Nokta Sayma Metodu" adı verdiğimiz yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem popülasyondaki her bir kromozomu değerlendirmek için potansiyel bir çözümün



Şekil 3.5. Popülasyon Büyüklüğünün Kapsama Oranına Etkisi

etkinliğini değerlendiren bir fonksiyondur. Aşağıdaki şekilde çalışır:

- **Referans Nokta Setinin Belirlenmesi:** İlgi duyulan bölgenin kapsama analizi için bir referans nokta seti seçilir. Bu noktalar genellikle rastgele seçilir ve alan boyunca dağıtılır.
- **Algılayıcı Düğümlerinin Algılama Aralığının Belirlenmesi:** Dağıtılan her algılayıcı düğümünün bir algılama aralığı (r_s) vardır. Bu aralık düğümün etrafındaki olayları veya hedefleri algılayıp, algılamayacağının belirtir. Bir olayın algılanabilmesi için düğümün konumundan maksimum r_s kadar uzakta olması gerekmektedir, aksi durumda algılanamaz.
- **Her Nokta İçin Kapsama Durumunun Belirlenmesi:** Her noktanın en az bir algılayıcı düğümü tarafından kapsanıp kapsanmadığını belirlemek için, Denklem 3.3'te gösterildiği gibi Öklid uzaklık denklemi kullanılır. Her noktanın algılayıcı düğümlere olan uzaklığı tek tek kontrol edilir. Noktalardan en az bir düğüme olan mesafe r_s 'den azsa Denklem 3.4'te görüldüğü gibi noktanın kapsandığı kabul edilir. Daha sonra kapsanan noktaların sayısı hesaplanır.

$$D(P,S) = \sqrt{(Px - Sx)^2 + (Py - Sy)^2} \tag{3.3}$$

$$C(P,S) = \begin{cases} 1, & D(P,S) <= r_s \\ 0, & D(P,S) > r_s \end{cases} \tag{3.4}$$

- **Kapsama Alanının Hesaplanması:** Kapsanan noktaların toplam sayısı, sahaya dağıtılan toplam nokta sayısına bölünür ve bu oran, toplam kapsama alanının yüzdesini hesaplamak için kullanılır. Bu, belirli bir bölgenin ne kadarının algılayıcı düğümler tarafından kapsandığını gösterir.

3.2.4. Ebeveyn Seçimi

Popülasyon içerisinde yer alan her kromozomun uygunluk değeri hesaplandıktan sonraki adım, uygunluk değeri iyi olan bireylerin seçilip genetik operatörlerin uygulanmasıdır. Bu süreç GA'nın yeni nesil bireyler oluşturmasına ve çözüm arayışını sürdürmesine olanak sağlar. Bu çalışmada, evrimsel operatörler uygulanarak daha iyi çözümler elde etmek için kullanılacak kromozom seçimi için turnuva yöntemi kullanılmıştır. Turnuva seçimi, genetik algoritmalarda düşük uygunluk değerine sahip bireylerin etkisini azaltmayı amaçlayan, kolay uygulanabilen popüler seçim stratejilerinden biridir. Bu çalışma kapsamında her iki ebeveyn seçimi için popülasyondan rastgele seçilen ikişer birey arasında bir turnuva düzenlenir ve en iyi performans (en iyi uygunluk değeri) gösteren bireyler seçilir.

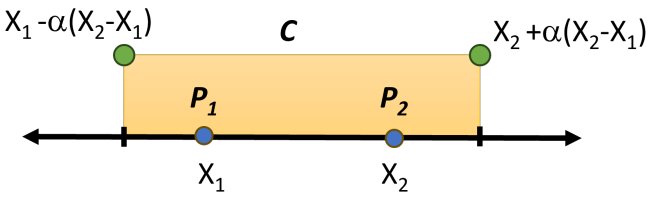
Seçilen en iyi bireyler daha sonra çaprazlama ve mutasyon aşamalarına geçerek yeni potansiyel çözümlerin üretilmesine, zaman içinde popülasyonun kalitesinin iyileştirilmesine ve giderek daha iyi çözümlere yaklaşmaya katkı sağlar.

3.2.5. Çaprazlama İşlemi

Çaprazlama, genetik algoritmanın en önemli özelliklerinden biridir ve iki farklı bireyin genetik materyallerini birleştirerek yeni bir birey oluşturur. Geliştirilen bu yaklaşımın çaprazlama basamağında **BLX-α çaprazlama operatörü**(Blended Crossover Alpha) kul-

lanılmaktadır. Bu yöntem, ebeveyn kromozomların genlerini çaprazlarken, temel noktaların yanı sıra ara noktalarda da birleştirerek çocuk genlerini oluşturur.

BLX-α çaprazlaması, α hiperparametresine bağlıdır. Hiperparametreler, bir makine öğrenimi veya optimizasyon algoritması için doğrudan veri kümesinden öğrenilmeyen, ancak algoritma yapılandırması veya davranışı üzerinde belirleyici olan parametrelerdir. Genellikle $0 < \alpha < 1$ aralığında bir değer alır. Bu değer, çocuk genlerinin oluşturulması sırasında ebeveyn genlerinin arasındaki farkın korunmasını sağlar ve çeşitliliği artırır. Bu, GA'nın daha çeşitli gen havuzları oluşturmasına ve potansiyel olarak daha iyi çözümler bulmasına yardımcı olmaktadır. BLX-α çaprazlamasında iki ebeveyn olan P_1 ve P_2 verildiğinde, $P_1 < P_2$ olmak üzere, iki ebeveynin ağırlıklarının mutlak farklarını hesaplar. Şekil 3.6'te görüldüğü gibi bu ebeveynin konumundan mutlak farklar kadar dışarıda iki nokta belirlenir. Daha sonra bu iki nokta arasında $[P_1 - \alpha(P_2 - P_1)]$ ile $[P_2 + \alpha(P_2 - P_1)]$ rastgele bir değer olan ε seçilir. Denklem 3.5'te verilen formüle göre yeni bir çocuk kromozom elde edilir. Bu yöntem, ebeveynler arasında genlerin farklılık göstermesini ve çocuğun bu genler arasında daha geniş bir aralıkta olmasını sağlarken, çeşitliliği artırır [58, 69].



Şekil 3.6. BLX-α Operatörü

$$C = P_1 + \alpha(P_2 - P_1) + \varepsilon \tag{3.5}$$

GA'da çaprazlama basamağının bir diğer önemli konusu da çaprazlama oranının belirlenmesidir. Çaprazlama oranı, popülasyonun ne kadarının çaprazlama işlemine dâhil edileceğini belirler. Yapılan araştırmalar, yüksek çaprazlama oranlarının popülasyo-

nun çeşitliliğini artırdığını, ancak düşük çaprazlama oranlarının daha hızlı yakınsama sağladığını göstermektedir [70]. Bu çalışmada kullanılacak en uygun çaprazlama oranının belirlenmesi için Tablo 3.1'de verilen parametrelere göre çeşitli testler yapılarak çaprazlama oranının kapsama oranı üzerindeki etkisi incelenmiş ve buna göre en uygun oranın belirlenmesine çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Çaprazlama Oranı Test Parametreleri

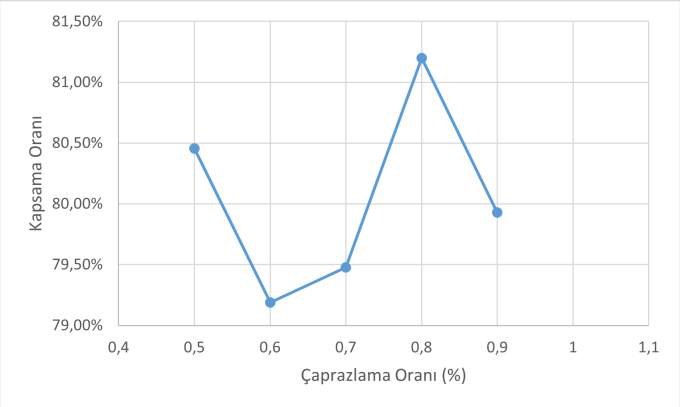
Parametreler	**Değerler**
Düğüm Sayısı	40
Nokta Sayısı	20000
İterasyon Sayısı	100
Popülasyon Büyüklüğü	50
Çaprazlama Oranı	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9
Çocuk Sayısı	1
Elitizm Oranı (%)	2

Yapılan testlerde her durum için algoritma 10 kez çalıştırılmış ve yapılan testler sonucunda elde edilen kapsanan nokta sayılarının ve işlem sürelerinin ortalaması alınmıştır. Buna göre ortalama uygunluk değeri üzerinden kapsama oranı ve hesaplama süresi saniye(sn) cinsinden hesaplanarak Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çaprazlama Oranın Etkisine İlişkin Test Sonuçları

Çaprazlama Oranı	**Kapsama Oranı (%)**	**İşlem Süresi**(sn)
0,5	80,46	22,26
0,6	79,19	23,81
0,7	79,48	27,34
0,8	81,20	29,96
0,9	79,93	36,22

Buna göre Şekil 3.7'da GA'da kullanılan çaprazlama oranının, kapsama oranı üzerindeki etkisi grafik olarak görülmektedir. İncelenen sonuçlara göre çaprazlama oranı $0,8$ olarak belirlendiğinde popülasyonun çeşitliliğinin arttığı ve daha iyi sonuçlara gidildiği, ancak diğer çaprazlama oranlarında genetik çeşitliliğin yeterince artmadığı görülmektedir.



Şekil 3.7. Çaprazlama Oranının Kapsama Oranına Etkisi

3.2.6. Mutasyon İşlemi

Çaprazlama sürecinin sonucunda oluşturulan popülasyona mutasyon işlemi uygulanır. Mutasyon, bir çözümün genetik dizilerini (kromozomları) rastgele değiştirerek daha iyi çözümler bulmayı amaçlar. Bu çalışmada sadece GA uygulanan çalışmalarda mutasyon basamağında Non-Uniform Mutasyon kullanılmıştır. "Non-uniform mutation" veya "Adaptive mutation" terimleri, gerçek sayı kodlamalı genetik algoritmalarında (real coded GAs) yaygın olarak kullanılan mutasyon operatörlerindendir. GA'nın kapsama alanını genişletmek için kullanılır ve algoritmanın esnekliğini artırarak yeni arama mekanizmaları oluşturur. Bu yöntem, iterasyon veya nesil sayısına bağlı olarak değişen bir mutasyon oranına dayanır; başlangıçta yüksek olan bu oran, zamanla azalır. Bu azalma, algoritmanın evrim sürecinde daha az rastgele mutasyonlarla daha odaklı bir arama yapmasını sağlar. Non-Uniform Mutasyon, karmaşık arama alanlarında etkilidir ve diğer mutasyon yöntemlerine göre daha hızlı yakınsama sağlar. Her genin değişme olasılığını belirleyen zaman bağımlı bir fonksiyon kullanarak rastgele gen değişikliklerinin sınırlamalarını aşar. Non-uniform mutasyonun matematiksel gösterimi Denklem 3.6 'da verilmektedir.

$$x_m = \begin{cases} x_k + \Delta(t, UB - x_k) & \xi = 0, \\ x_k + \Delta(t, x_k - LB), & \xi = 1 \end{cases} \tag{3.6}$$

- x_m mutasyondan sonra elde edilen yeni gen değeridir.
- x_k orijinal genin değerini temsil eder.
- $\Delta(t, y)$: Mutasyon oranı, iterasyon sayısı t ve mevcut değer y ile hesaplanır.
- UB(Upper Bound): Genin alabileceği maksimum değer.
- LB(Lower Bound): Genin alabileceği minimum değer.
- ξ: Rastgele değişken, mutasyonun yönünü belirler (0 veya 1).

3.2.7. Titreşimsel Mutasyon İşlemi

Titreşimsel Genetik Algoritma (Vibrational Genetic Algorithm, TGA), etkili çeşitlilik ile arama/bulmayı sağladığı için GA'nın yakınsama performansını artıran bir yöntemdir. Titreşimsel Çaprazlama veya Titreşimsel Mutasyon olarak uygulanır. Uygulanan titreşimin çözüm çeşitliliğini artırması ve yerel aramaları iyileştirmesi beklenmektedir. Bu çalışmada iyileştirme sağlamak için GA'nın çaprazlama işleminden sonraki mutasyon adımında belirli bir olasılık dahilinde titreşim kullanılmıştır.

TGA, moleküler düzeyde titreşim kavramından ilham alan benzersiz bir mutasyon sürecini içeren bir tür genetik algoritmadır. Geleneksel GA'da mutasyon, genetik çeşitliliği korumak ve erken yakınsamayı önlemek için popülasyondaki bir bireyin bir veya daha fazla geninde rastgele meydana gelen bir değişikliktir. TGA'da mutasyon süreci, moleküllerin yapılarına ve çevrelerine bağlı olarak belirli frekanslarda titreştiği moleküler titreşimler fikrinden etkilenir. Bu algoritma, optimizasyon problemlerinin arama uzayında benzer titreşim modellerinin mevcut olduğunu varsayar. Algoritma, bireyin genlerine titreşimler vererek, arama uzayında yeni alanlar keşfederek daha iyi çözümler bulma şansını artırır. Sözde kod ve TGA'nın adımları Algoritma 1'de sunulmaktadır.

Algoritma 1 TGA'nın Sözde Kodu

```
Başlangıç parametrelerini ayarla.
Başlangıç popülasyonunu oluştur.
while Sonlandırma kriteri sağlandı mı do
    Her birey için uygunluk değerini bul/hesapla.
    Uygunluk değerlerine göre çaprazlama için ebeveynleri seç.
    Yavru oluşturmak için ebeveynler üzerinde çaprazlama gerçekleştir.
    Seçilen bireylere mutasyon uygula.
    Seçilen bireylere titreşimsel mutasyon uygula.
    Yavrular için uygunluk değerini hesapla.
    Popülasyondaki en düşük uygunluk değerine sahip bireyleri yavrularla değiştir
    (popülasyonu güncelle).
end while
En iyi bireyi (çözümü) göster.
```

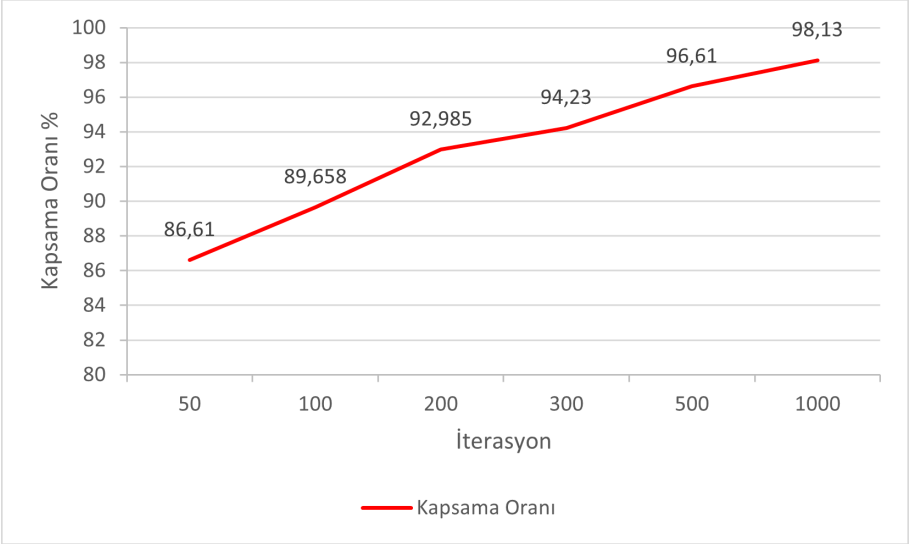
3.2.8. Elitizm

Bu çalışmada, GA elitizm uygulaması seçkin bireylerin sonraki nesillere doğrudan aktarılmasını sağlayarak, algoritmanın en iyi çözümlerini koruma ve rastgele mutasyonlar ya da çaprazlamalar nedeniyle bu çözümlerin kaybolmasını önleme amacıyla kullanılmıştır. Bu bağlamda, elitizm oranı olarak popülasyonun %2'si belirlenmiş ve bu oranın algoritmanın genel performansını optimize etmede yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.9. Sonlandırma Kriteri

Önerilen çalışmada sonlandırma kriteri olarak iterasyon sayısı seçilmiştir. Çünkü bu yöntem diğer sonlandırma kriterlerine göre basit, kolay uygulanabilir ve kontrol edilebilir özelliklere sahiptir. Örneğin; algoritmanın sürekli aynı iterasyon sayısıyla çalıştırılması ile, deneylerin tekrar edilebilirliği, tutarlılığı ve karşılaştırılabilirliği artırılır. İterasyon sayısı, algoritmanın ne kadar süre çalışacağını belirler ve bu süre, problemin karmaşıklığına ve popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak değişebilir.

İterasyon sayısı iyi seçilmelidir; hem yeterli bir çözüm bulunana kadar çalışabilsin hem de gereksiz hesaplama yüküne ve zaman kaybına sebep olmasın istenir. Bu nedenle, iterasyon sayısını belirlerken, algoritmanın hızı ve çözüm kalitesi arasında dengeli bir karar vermek önemlidir. Bu çalışmada uygulanan GA ve TGA yaklaşımlarında, Şekil 3.8'de gösterildiği üzere, iterasyon sayısının kapsama oranına etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analiz sonucunda, algoritmanın arama alanını yeterince geniş bir şekilde keşfetmesine ve optimal çözüme ulaşmasına imkân tanıyacak şekilde iterasyon sayısının 1000 olarak seçilmesi uygun bulunmuştur.



Şekil 3.8. İterasyon Sayısı ile Kapsama Oranının İlişkisi

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip hedef alanlarda homojen ve heterojen özelliklerdeki düğümler kullanılarak çeşitli problem senaryoları kurgulanmış ve bu problemler üzerinde evrimsel algoritma tabanlı yaklaşım uygulanarak kapsama alanının artırılması hedeflenmiştir. İlgili problemlerde en uygun sonuçları elde etmek için, simülasyon ortamlarında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi amacıyla öncelikle bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar şöyle sıralanmıştır: kapsama alanının hesaplanması için en hızlı ve etkin yöntemin belirlenmesi, modellenecek simülasyon ortamı için en uygun parametrelerin belirlenmesi ve modellenen simülasyon ortamı üzerinde GA ve TGA yaklaşımlarının uygulanması. Bu bölümde, yöntem ve parametrelerin belirlenmesine yönelik, simüle edilen senaryolar üzerinde elde edilen kapsama alanı başarımlarına dair sonuçlar sunulmuştur.

Bu çalışmadaki kodlamalar MATLAB 2021.b sürümü üzerinde yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği donanım özellikleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerin Gerçekleştirildiği Donanım Özellikleri

Donanım	**Özellikler**
İşlemci	Intel(R) Core(TM) i7-8700 CPU @3.20GHz 6 Core
Grafik İşlemcisi	NVIDIA GeForce® GTX 1070 Ti 11G (8 GB)
Sistem Belleği	32 GB DDR4
İşletim Sistemi	Windows 10 Home 64 bit (Derleme 19043)

4.1. Kapsama Alanı Hesaplama Yöntemleri ve Parametre Seçimi

Kapsama alanının hesaplanması için önceki bölümde 3.1 Kapsama Alanının Hesaplanması başlığı altında anlatılan Görüntü işleme ve bu çalışmada önerilen "Nokta Sayma Yöntemi (Point Counting Method)" olarak adlandırılan yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin ölçümlerinde doğruluk ve tutarlılığı test etmek amacıyla farklı paramet-

relere göre problem uzayı oluşturularak önce homojen ardından da heterojen düğümler deterministik yerleşim tekniği ile dağıtılmıştır. Bu dağıtım sonucunda elde edilen kapsama alanları, görüntü işleme ve nokta sayma yöntemi ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalara ait bulgular, aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1. Görüntü İşleme Tekniği ile Elde Edilen Sonuçlar

Görüntü İşleme Yöntemi ile Hesaplanan Kapsama Alanı (IMPKA) için Tablo 4.2 'de belirtilen parametreler kullanılarak farklı boyutlardaki hedef alanlarda çeşitli sayılarda düğüm, deterministik yöntem ile yerleştirilmiştir. Bu yöntemde Şekil 4.1'de görüldüğü gibi kesişim, çakışma olmadan dağıtılan düğümlerden maksimum kapsama alanının elde edilmesi hedeflenmiştir. Buradaki amaç, çalışmada kullanılacak hatanın en az olduğu kapsama alanı hesaplama yöntemini ve simulasyon parametrelerini belirlemektir. Bu doğrultuda, Tablo 4.3'te yer alan 18 adet farklı durum (senaryo) oluşturulmuştur.

Tablo 4.2. Düğüm Dağıtım Parametreleri

Parametreler	**Değerler**
Hedef Alan Boyutları(px)	100x100, 500x500, 1000x1000, 2500x2500, 5000x5000
Algılayıcı Sayısı	4, 25, 100, 400, 625, 1600, 2500, 10000
Algılama Aralığı(px)	5, 10, 25, 50, 100, 200



Şekil 4.1. Deterministik Yöntem ile İdeal Düğüm Dağıtımı

Tablo 4.3. Kapsama Alanı hesabında GKA ile IMPKA Sonuçlarının Karşılaştırılması

#	Alan Boyutu	Algılama Aralığı (r_s)	Düğüm Sayısı (n)	GKA (%)	IMPKA (%)	Hata (%)	Hesaplama Süresi (ms)
1	100x100	5	100	78,540	70,800	9,855	284
2	100x100	10	25	78,540	74,450	5,207	243
3	100x100	25	4	78,540	76,160	3,030	229
4	250x250	5	625	78,540	70,920	9,702	796
5	250x250	25	25	78,540	76,232	2,938	255
6	500x500	10	625	78,540	74,690	4,902	2411
7	500x500	25	100	78,540	76,256	2,908	557
8	500x500	50	25	78,540	77,770	0,980	349
9	500x500	100	4	50,265	49,939	0,649	260
10	1000x1000	10	2500	78,540	74,720	4,864	41633
11	1000x1000	25	400	78,540	76,268	2,893	6756
12	1000x1000	50	100	78,540	77,780	0,967	1889
13	1000x1000	100	25	78,540	78,041	0,636	666
14	2000x2000	10	10000	78,540	74,735	4,844	632946
15	2000x2000	25	1600	78,540	76,274	2,885	101135
16	2000x2000	50	400	78,540	77,785	0,961	25,800
17	2000x2000	100	100	78,540	78,044	0,631	6718
18	2000x2000	200	25	78,540	78,310	0,293	1976

Bu senaryolara göre yapılan deneyler sonucunda dağıtılan düğümlerin geometrik formüle göre toplam kapsama alanı(GKA) Denklem 4.1' de; hata değeri ise Denklem 4.2'de verilen formüllerle hesaplanmaktadır.

$$GKA = \pi * {r_s}^2 * n \tag{4.1}$$

$$Hata(\%) = ((GKA - IMPKA)/GKA) * 100 \tag{4.2}$$

Burada,

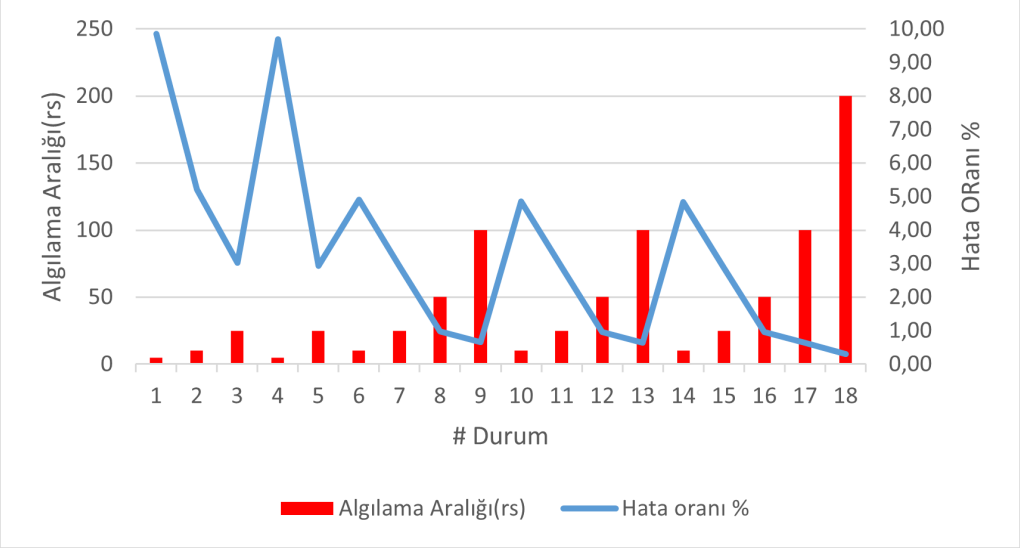
r_s ; dağıtılan düğümlerin algılama aralığını yani dairesel kapsama alanının yarıçapını,

n ; hedef alana dağıtılan düğüm sayısını,

GKA, geometrik yöntemle hesaplanmış düğümlerin toplam kapsama alanını,

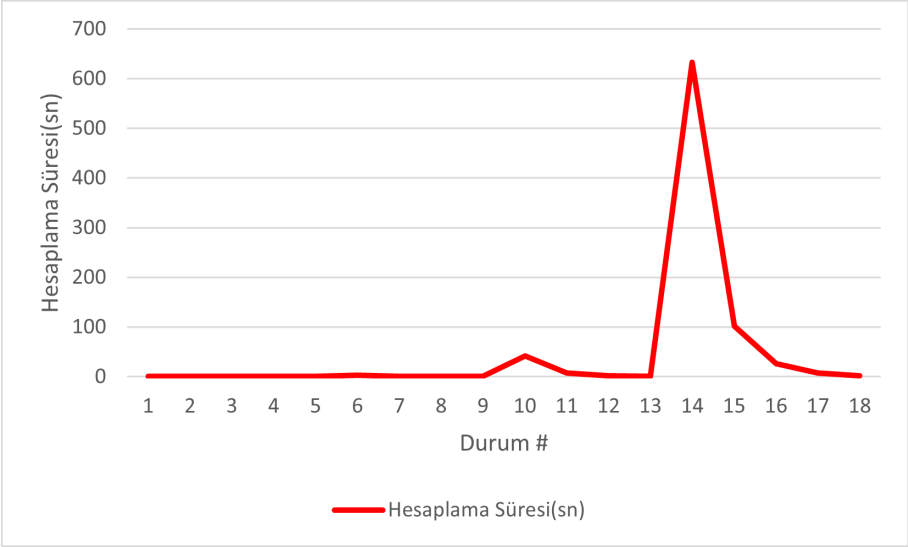
$IMPKA$ ise; görüntü işleme yöntemi ile hesaplanan kapsama alanını ifade etmektedir.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi % hata değerinin düğümlerin algılama aralığına (r_s) göre değişiklik gösterdiği ve r_s büyüdükçe hatanın küçüldüğü gözlemlenmektedir. Bu analiz ile küçük yarıçaplı algılayıcıların daha fazla hata ile çalıştığını ve dolayısıyla daha az güvenilir kapsama sağladığını; büyük yarıçaplı algılayıcıların ise daha az hata ile daha güvenilir sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Ayrıca yatay eksende verilen durum numarası Tablo 4.3 'deki satır numarasını temsil etmektedir. Grafiğin yatay ekseninde soldan sağa doğru ilerlendiğinde hedef alanın ve r_s değerlerinin arttığı ve bu değerler arttıkça da hatanın azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.2. IMPKA Hesabında Düğüm Algılama Aralığının Hata Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.3'te görülen grafikte görüntü işleme yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalarda hedef alana yerleştirilen algılayıcı sayısı arttıkça hesaplama süresinin de arttığı görülmektedir. Algılama aralığı sabit kaldığı ancak hedef alanın büyüdüğü durumlarda dolayısıyla alanı kapsayacak düğüm sayısının da artması sebebiyle hesaplama süresinde önemli bir artış olduğu görülmektedir. Örneğin, 14 nolu durumda r_s= 10px ve hedef alan boyutu 2000x2000px iken(en kötü durum analizi), ideal GKA değerini elde etmek için 10000 düğüm sayısına ihtiyaç vardır. Bu da hesaplama şekilden görüldüğü gibi hesaplama süresini ciddi oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Oluşturulan 18 farklı senaryonun hesaplama süresinin değişimi

4.1.2. Nokta Sayma Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada, Kablosuz Algılayıcı Ağlarda (KAA) düğüm dağıtımının kapsama alanını ölçmek için yenilikçi bir yöntem olan "Nokta Sayma Yöntemi" önerilmiş ve kullanılmıştır. Bu yöntemde hedef alanın kapsama durumu belirlemek amacıyla belirli sayıda rastgele nokta dağıtılmış ve bu noktaların algılayıcı düğümler tarafından kapsanma durumu hesaplanmıştır. Nokta Sayma Yöntemi kapsama alanını değerlendirmek için kullanılan geleneksel matematiksel formüllere kıyasla daha yüksek doğruluk ve hız sağlamaktadır.

Bu yaklaşım ile kapsama alanı hesabında; bir noktanın kapsanmış sayılması için Denklem 3.1'de belirtildiği gibi o noktanın herhangi bir algılayıcı düğümün algılama aralığı (r_s) içinde bulunması gerekmektedir. Bu testler sırasında yöntemin güvenirliğini ortaya koymak amacıyla her bir senaryo 100 kez tekrarlanmış ve kapsanan nokta sayılarının ortalaması alınarak kapsama oranı hesaplanmıştır. Bu yöntemde her bir noktanın en az bir düğüm tarafından kapsanması yeterlidir. Herhangi bir noktanın bir düğüm tarafından kapsandığı anda diğer düğümler tarafından kapsanıp kapsanmadığı ihmal edilmektedir. Aksi takdirde, rastgele dağıtım sonucunda aynı alanı algılayan düğümler olduğunda, bir

nokta birden fazla düğümün ilgi alanına girebilir; bu durumda nokta sayma yönteminde kapsama oranı hatalı olarak, oldugundan daha fazla hesaplanabilir.

Nokta Sayma yöntemi ile Kapsama alanı hesabı için Tablo 4.4'te belirtilen alan, yarıçap, düğüm sayısı ve rastgele atılan nokta sayısı gibi parametrelerin değişiklik gösterdiği 57 (19x3) farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan 19 senaryonun her biri, hedef alanı temsil etmek için 3 farklı sayıda (10000, 20000 ve 30000) nokta kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayılar, kapsama alanının daha hassas ve doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlamak için seçilmiştir.

Tablo 4.4. Test Parametreleri

Parametreler	**Değerler**
Alan Boyutları (px)	100x100, 500x500, 1000x1000, 2500x2500, 5000x5000
Algılama Aralığı (px)	5, 10, 25, 50, 100, 125, 200, 250, 500
Algılayıcı Sayısı(n)	4, 25, 100, 400, 625, 1600, 2500, 10000
Atılan Nokta Sayısı	10000, 20000, 30000

Hedef alana dağıtılan nokta sayısının artırılması, kapsama alanı hesaplamalarının doğruluğunu ve güvenilirliğini yükseltir. Daha fazla nokta kullanımı, daha ayrıntılı bir örnekleme sağlayarak algılayıcı düğümlerin kapsama alanını daha kesin bir şekilde belirlemeye yardımcı olur. Ancak yüksek sayıda nokta kullanımı hesaplama süresini ve kaynak kullanımını artırır. Az sayıda nokta kullanılması yeterli örneklem derinliğini sağlayamayabilir ve bu da kapsama hesaplamalarının doğruluğunu azaltabilir. Dolayısıyla, farklı yoğunluklardaki nokta dağılımlarının kapsama alanı üzerindeki etkilerini gözlemlemek için 10000, 20000 ve 30000 nokta kullanılmıştır.

Daha yüksek nokta sayıları, kapsama alanının daha ince ayrıntılarını ortaya çıkararak algılayıcı düğümlerin yerleştirilme etkinliğinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar. Ancak 40000 veya 50000 gibi çok yüksek nokta sayıları, hesaplama süresini ve işlem gücü ihtiyacını gereksiz yere artırarak pratik uygulamalarda verimliliği düşürebilir. Bu nedenle, hesaplama verimliliğini ve doğruluğu dengelemek amacıyla, 10000, 20000 ve 30000 nokta kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

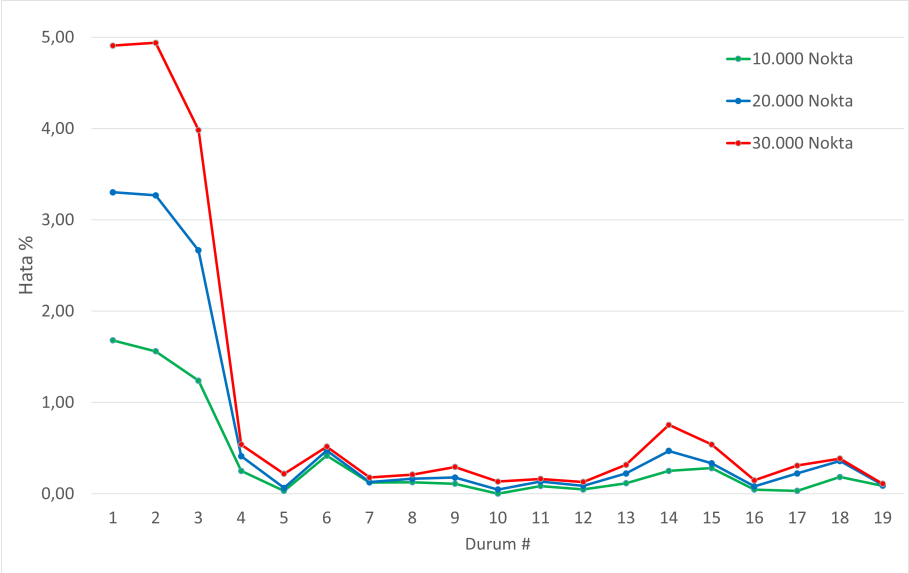
Bu yöntemin kapsama başarımını test etmek amacıyla, hedef alana deterministik yerleşim yöntemi ile birbirleriyle kesişmeyecek şekilde algılayıcı düğümler yerleştirilmiştir. Oluşturulan problem senaryolarında kapsama alanının hesaplanması için hedef alanı temsil eden 10000, 20000, 30000 noktanın kullanıldığı durumlarda düğümlerin nokta sayma yöntemi ile hesaplanmış kapsama alanı (NKA) oranları Tablo 4.5'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.5. Kapsama Alanı Hesabında Nokta Sayma Yöntemine Ait Deney Sonuçları

#	**Alan Boyutu**	**Algılama Aralığı** (r_s)	**Düğüm sayısı** (n)	**GKA (%)**	**10000 NKA (%)**	**20000 NKA(%)**	**30000 NKA(%)**
1	100x100	5	100	78,54	79,86	79,81	79,80
2	100x100	10	25	78,54	79,77	79,88	79,85
3	100x100	25	4	78,54	79,51	79,66	79,58
4	500x500	25	100	78,54	78,74	78,67	78,64
5	500x500	50	25	78,54	78,57	78,57	78,66
6	500x500	100	4	50,27	50,48	50,30	50,29
7	1000x1000	25	400	78,54	78,44	78,54	78,50
8	1000x1000	50	100	78,54	78,44	78,51	78,58
9	1000x1000	100	25	78,54	78,63	78,59	78,63
10	2000x2000	25	1600	78,54	78,54	78,57	78,47
11	2000x2000	50	400	78,54	78,61	78,50	78,52
12	2000x2000	100	100	78,54	78,58	78,51	78,57
13	2000x2000	200	25	78,54	78,63	78,46	78,61
14	5000x5000	25	10000	78,54	78,34	78,37	78,32
15	5000x5000	50	2500	78,54	78,76	78,50	78,38
16	5000x5000	100	625	78,54	78,50	78,51	78,59
17	5000x5000	125	400	78,54	78,52	78,69	78,47
18	5000x5000	250	100	78,54	78,68	78,68	78,52
19	5000x5000	500	25	78,54	78,47	78,55	78,55

Oluşturulan her durum için algoritma 100 defa tekrarlanarak hesaplanan kapsanan nokta sayılarının ortalaması alınmış ve düğümlerin kapsama oranı bulunmuştur. Yapılan bu 57 farklı problem senaryosuna göre testler yapmanın amacı, hedef alanın boyutları, rastgele dağıtılacak nokta sayısı ve algılayıcıların yarıçapı gibi faktörleri titizlikle belirleyerek ideale en yakın sonuçları verecek parametreleri belirlemektir. Bu doğrultuda farklı parametre kombinasyonlarıyla yapılan testlerin sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Testlerde elde edilen verilerin analizi sonucunda, belirlenen parametrelerin kapsama doğruluğu ve hesaplama verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. 57 durumun parametrelerine göre değişkenlik gösteren hata oranı Şekil 4.4 'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Nokta Sayma Yöntemi için Oluşturulan Tüm Durumlara Göre Kapsama Alanı Hata(%) Değişimi

Örneğin, Tablo 4.7'de 500x500 px boyutundaki hedef alana 10000, 20000, 30000 rastgele nokta dağıtılmıştır. Bu noktalarla doldurulan alana sırasıyla r_s=25px olan 100 adet, r_s=50px olan 25 adet, r_s =100px olan 4 adet algılayıcı düğüm yerleştirilmiştir. Daha sonra, Nokta Sayma Yöntemi ile kapsama alanı hesaplanmış, geometrik kapsama yüzdesi ile karşılaştırılmıştır.

Farklı alan boyutları, algılayıcı yarıçapları ve düğüm sayıları kullanılarak yapılan deneylerde, kapsama alanı hata değerleri Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 'da sunulmuştur. Tablolarda yer alan "Ortalama hata(%)" sütununda yer alan değer, tüm senaryolar için elde edilen hataların ortalamasını ifade etmektedir.

Deneylerde, kapsama alanı hesabında 100x100px'den başlayarak, 5000x5000px' kadar hedef alan artırılmıştır. En küçük ve en büyük hedef alanlar arasındaki bu büyük değişime karşılık atılan nokta sayısı her iki durum için de sabittir. Dolayısıyla en küçük alanda dağıtılan noktaların yoğunluğunun eşit olmaması sebebiyle küçük hedef alanlarda hata

daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum, kapsama alanı hesabı için atılan nokta sayısının hedef alan boyutuyla doğru orantılı olması gerektiğini göstermektedir. Tablo 4.10'daki %1,5'luk hatanın sebebi de bu durumdur.

Tablo 4.6. 100x100px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri

Nokta Sayısı	r=5, n=100	r=10, n=25	r=25, n=4	Ortalama hata (%)
10.000	1,680	1,560	0,012	1,084
20.000	1,622	1,708	0,014	1,115
30.000	1,607	1,671	0,013	1,097

Tablo 4.7. 500x500px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri

Nokta Sayısı	r=25, n=100	r=50, n=25	r=100, n=4	Ortalama hata (%)
10000	0,251	0,032	0,427	0,237
20000	0,160	0,032	0,066	0,086
30000	0,128	0,154	0,051	0,111

Tablo 4.8. 1000x1000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri

Nokta Sayısı	r=25, n=400	r=50, n=100	r=100,n=25	Ortalama hata(%)
10000	0,123	0,126	0,110	0,120
20000	0,004	0,037	0,068	0,036
30000	0,050	0,047	0,115	0,071

Tablo 4.9. 2000x2000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri

Nokta Sayısı	r=50, n=400	r= 100, n=100	r=200, n=25	Ortalama hata (%)
10000	0,084	0,047	0,115	0,082
20000	0,051	0,040	0,108	0,066
30000	0,027	0,042	0,094	0,054

Tablo 4.10. 5000x5000px Hedef Alana İlişkin Hata Değerleri

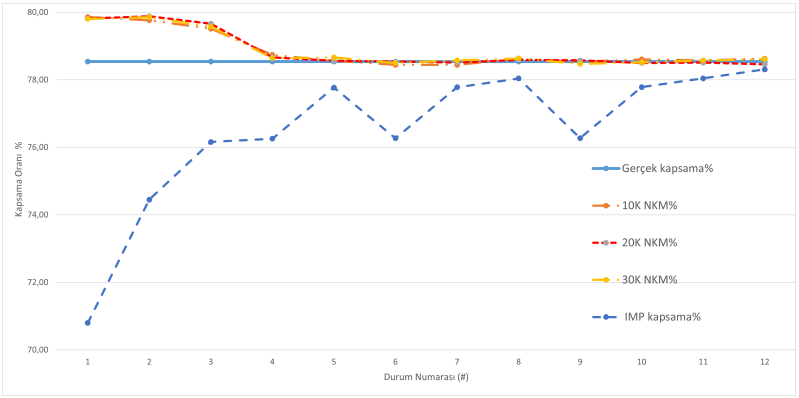
Nokta Sayısı	r=25, n=10000	r=50, n=2500	r=100, n=625	r=125, n=400	r=250, n=100	r=500, n=25	Ortalama hata (%)
10000	0,249	0,280	0,046	0,032	0,184	0,085	0,146
20000	0,219	0,054	0,034	0,191	0,175	0,011	0,114
30000	0,285	0,204	0,068	0,085	0,027	0,014	0,114

Farklı yarıçaplara sahip ve farklı sayıda algılayıcı düğüm kullanılarak yapılan deneylerde nokta sayma yöntemi ile alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde her bir durumda oluşan hatalar gözlemlenmiş ve analiz edilmiştir. İlgili alanlardaki tüm durumlar değerlendirildiğinde, her bir durumda elde edilen hataların ortalaması alınmıştır. Tablo 4.11'da görüldüğü üzere en düşük hata değeri 2000x2000 birimlik alanda elde edilmiştir.

Tablo 4.11. Alan Büyüklüklerine Göre Ortalama Hata Değerleri

Alan Boyutu(px)	**100x100**	**500x500**	**1000x1000**	**2000x2000**	**5000x5000**
Ortalama Hata (%)	1,510	0,144	0,076	0,063	0,125

Bu sonuçlar ışığında çalışmanın sonraki aşamalarında kullanılmak üzere 2000x2000px boyutlarındaki bir alanın ve hedef alanın kaplanması için 20000 nokta kullanımına karar verilmiştir. Bu karar Şekil 4.5'da görüldüğü gibi 20000 nokta kullanılarak elde edilen kapsama alanı sonuçlarının gerçeğe daha yakın bir performans göstermesi sonucunda alınmıştır. Dolayısıyla 20000 nokta ile yapılan kapsama alanı hesaplamaları, gerek deneysel doğruluk açısından gerekse hesaplama süresi açısından en uygun sonucu vermektedir.



Şekil 4.5. Kapsama Alanı Hesabı Yöntemlerinin Başarımlarının Karşılaştırması

Farklı boyutta alanlarda, algılama aralıklarında ve düğüm sayılarında çeşitli senaryolar ve yöntemler uygulayarak kapsama başarımları değerlendirilmiştir. Tablo 4.12'de kapsama alanı oranının sabit olarak %78,54 olarak tutulduğu farklı senaryolarda görüntü işleme ve 10000, 20000 ve 30000 nokta kullanılan nokta sayma yönteminin kapsama

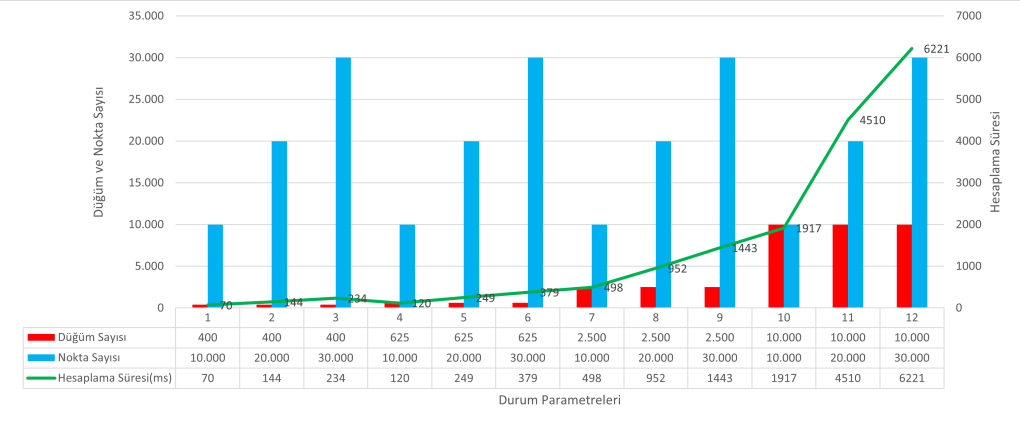
alanı hesaplama başarımları karşılaştırılmaktadır. Görüntü işleme yöntemi ile yapılan hesaplamalarda kapsama alanı oranı için %70,80-%78,31 aralığında çeşitli değerler elde edilmiş olup; ortalama %76,5 değer ile, gerçek kapsama oranının altında kalmıştır. Nokta Sayma Yöntemi kullanarak hesaplama yapıldığında ise gerçek kapsama alanı oranına oldukça yakın sonuçlar elde edildiği, hatta bazı durumlarda ise gerçek kapsama oranıyla eşit sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4.12. Kullanılan Yöntemlerin Kapsama Alanı Hesaplama Başarımları

#	**Hedef Alan Boyutu (px)**	**Algılama Aralığı (r_{s})**	**Düğüm Sayısı (n)**	**GKA (%)**	**IMPKA (%)**	**10000 NKA (%)**	**20000 NKA (%)**	**30000 NKA (%)**
1	100x100	5	100	78,54	70,80	79,86	79,81	79,80
2	100x100	10	25	78,54	74,45	79,77	79,88	79,85
3	100x100	25	4	78,54	76,16	79,51	79,66	79,58
4	500x500	25	100	78,54	76,26	78,74	78,67	78,64
5	500x500	50	25	78,54	77,77	78,57	78,57	78,66
6	1000x1000	25	400	78,54	76,27	78,44	78,54	78,50
7	1000x1000	50	100	78,54	77,78	78,44	78,51	78,58
8	1000x1000	100	25	78,54	78,04	78,63	78,59	78,63
9	2000x2000	25	1600	78,54	76,27	78,54	78,57	78,47
10	2000x2000	50	400	78,54	77,79	78,61	78,50	78,52
11	2000x2000	100	100	78,54	78,04	78,58	78,51	78,57
12	2000x2000	200	25	78,54	78,31	78,63	78,46	78,61

Şekil 4.6'de görülen grafiğe göre algılayıcı sayısı artıkça, hesaplama süresinin artığı ve özellikle büyük alanlarda daha fazla algılayıcı düğüm kullanıldığında hesaplama sürelerinin artış gösterdiği görülmektedir. Bu, daha büyük ve daha karmaşık alanlarda daha fazla işlem gücü ve zaman gereksinimi olduğunu ortaya koyar. Bu nedenle büyük alanları kapsamak için r_s değeri küçük ve çok sayıda algılayıcı düğüm kullanmanın hesaplama süresini önemli ölçüde artırdığı ve küçük r_s değerine sahip düğümlerin tercih edilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Büyük alanlarda daha verimli bir kapsama sağlamak için daha az sayıda ancak daha geniş algılama aralığına sahip algılayıcı düğümlerin kullanılması önerilmektedir. Bu yaklaşım ile hem hesaplama sürelerini azaltılması hem de sistemin genel verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu analizler ve elde edilen sonuçlar, çalışmanın sonraki aşamalarında



Şekil 4.6. Nokta Sayma Yöntemi ile Kapsama Alanı Hesabında, Atılan Nokta ve Dağıtılan Düğüm Sayısına Göre Hesaplama Süresinin Değişimi

2000x2000 birimlik alan ve **20000 nokta** kombinasyonunun kullanılmasının, hem hata oranlarını minimize etmek hem de hesaplama süresini makul seviyelerde tutmak açısından en uygun parametreler olduğunu göstermiştir.

Elde edilen bulgular büyük alanlarda etkin bir kapsama sağlamak ve hesaplama süresini optimize etmek için daha büyük yarıçaplı ve daha az sayıda algılayıcı düğüm kullanılması gerektiğini doğrulamaktadır. Yaptığımız deneylerde büyük yarıçaplı algılayıcı düğümlerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların daha küçük yarıçaplı düğümlere göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Nokta Sayma Yöntemi kapsamında elde edilen sonuçlara göre yukarıda verilen grafiklerde yapılan analizlere dayanarak bu durumlar içerisinde hata ve hesaplama süresi olarak en iyi ikiliye sahip sonuçlar indirgenmiş ve Tablo 4.13'da verilmiştir. Hata değerleri kıyaslandığında, 1000x1000 ve 2000x2000 boyutlarındaki alanlarda daha düşük hata oranları gözlemlenmiştir. Aynı r_s değerine sahip algılayıcı kullanıldığında, alan büyüdükçe hata oranının düştüğü ancak düğüm sayısının artması nedeniyle hesaplama süresinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Alan boyutu sabit tutularak, r_s değeri değiştirilen durumlar incelendiğinde ise r_s değeri büyüdükçe hata oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.13. Hata ve Hesaplama Sürelerinin Değerlendirilmesi

Alan Boyutu(px)	**Algılama Aralığı(r_s)**	**Düğüm Sayısı(n)**	**Nokta Sayısı**	**Hata (%)**	**Hesaplama Süresi(ms)**
500x500	50	25	10000	0,032	5
500x500	50	25	20000	0,032	9
1000x1000	**25**	**400**	**20000**	**0,004**	**141**
1000x1000	50	100	20000	0,037	36
2000x2000	**25**	**1600**	**10000**	**0,001**	**275**
2000x2000	50	400	30000	0,027	14
2000x2000	100	100	20000	0,040	36
5000x5000	125	400	10000	0,032	70
5000x5000	250	100	30000	0,027	59
5000x5000	**500**	**25**	**20000**	**0,011**	**9**

4.2. KAA Düğüm Dağıtım Senaryoları ve Sonuçları

Bu bölümde, Tablo 4.14'te verilen problem senaryolarında belirli boyutlara ve net sınırlara sahip düzgün alanlar ile standart olmayan boyutlara ve düzgün olmayan sınırlara sahip düzgün olmayan alanlarda rastgele düğüm dağıtımı yapılmıştır. Homojen ve heterojen düğümlerin dağıtımlarının ardından kapsama alanının genişletilmesi amacıyla uygulanan GA ve TGA yaklaşımlarının uygulanmasına ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Tablo 4.14. Problem Senaryoları

Düğüm tipi	**Hedef alan şekli**	**Algoritma**	
Homojen	Düzgün alan	GA	TGA
Heterojen			
Heterojen	Düzgün olmayan alan	GA	TGA

4.2.1. Düzgün Alanda Düğüm Dağıtımı

Düzgün alan, 2B ve sınırları net bir şekilde tanımlanmış olan, KAA düğümlerinin dağıtılacağı hedef alan olarak tanımlanabilir. Bu tür alanlar genellikle geometrik şekillerle belirlenen ve kesin sınırlarla çevrelenmiş bölgeler olarak düşünülebilir. Bu tür hedef alanlar düğümlerin eşit ve etkili bir şekilde yerleştirilmesi ve dağıtılmasında hassas planlama ve kontrol sağlar, böylece düğümlerin kapsama alanı ve performansı daha kolay optimize edilebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda da sıklıkla 2B düzgün alanlarda düğüm

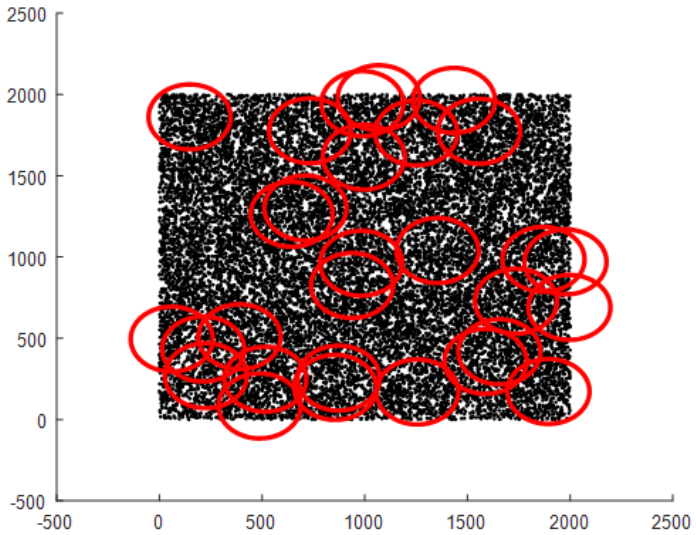
dağıtımı yapıldığı gözlemlenmektedir.

a) Homojen Düğümlerin Dağıtımı

Bu çalışmanın başlangıcında belirlenen parametrik değerler temel alınarak MATLAB ortamında rastgele düğüm dağıtım yöntemi kullanılmış ve Tablo 4.15'te verilen senaryo özelliklerine göre 2000x2000 piksel(px) boyutlarında düzgün şekilli bir hedef alana ***homojen*** özellikler gösteren yani aynı algılama aralığına sahip, ***boolean disk kapsama*** modelini kullanan 30 adet algılayıcı düğüm yerleştirilmiştir **(Senaryo-1)**. Bu düğümlerin hedef alandan taşma olmaksızın ve birbirleriyle kesişmeden, Denklem 4.1 ile tanımlanan formül doğrultusunda hedef alanın yaklaşık %94,25'lik bir kısmını geometrik olarak kapsayacağı bilinmektedir. Düğümlerin rastgele dağıtım sonucundaki başlangıç konumları Şekil 4.7 üzerinde gösterilmektedir.

Tablo 4.15. Homojen Düğüm Dağıtım Parametreleri (Senaryo-1)

Özellikler	**Değerler**
Alan Boyutları	2000x2000 px
Dağıtılan Nokta Sayısı	20000
Düğüm Algılama Aralığı(r_s)	200 px
Düğüm Sayısı (n)	30



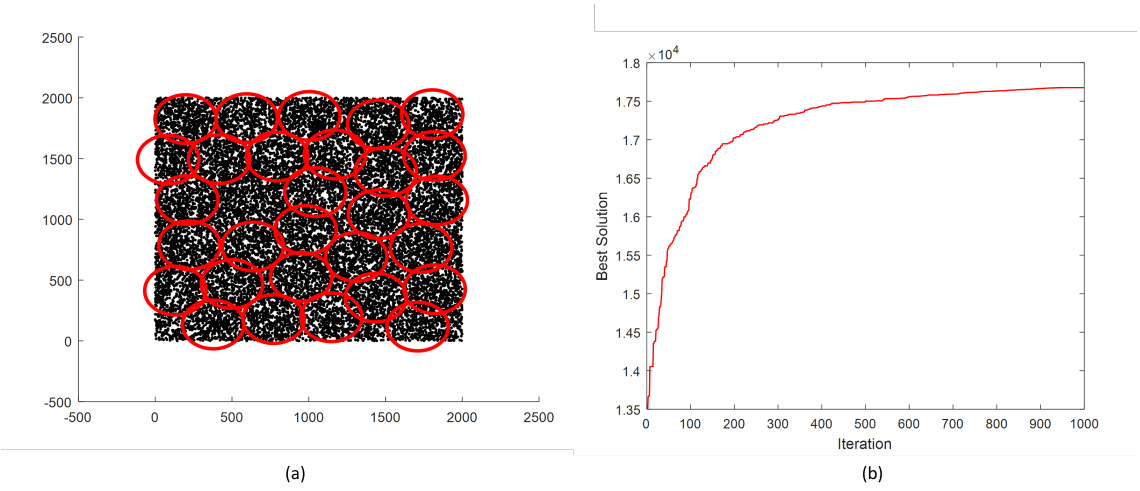
Şekil 4.7. Rastgele Dağıtım Sonrası Homojen Düğümlerin Konumları

Rastgele dağıtım yöntemi ile dağıtılan bu düğümlerin düzensiz dağılması sonucunda hedef alana dağıtılmış 20000 noktalardan sadece 11336 tanesini kapsayarak istenilen oranda kapsama sağlayamamıştır. Bu sebeple düğümlerin konumlarını değiştirerek kapsama alanını artırmak amacıyla Tablo 4.16'daki parametrelere göre GA uygulanmıştır.

Tablo 4.16. GA Parametreleri

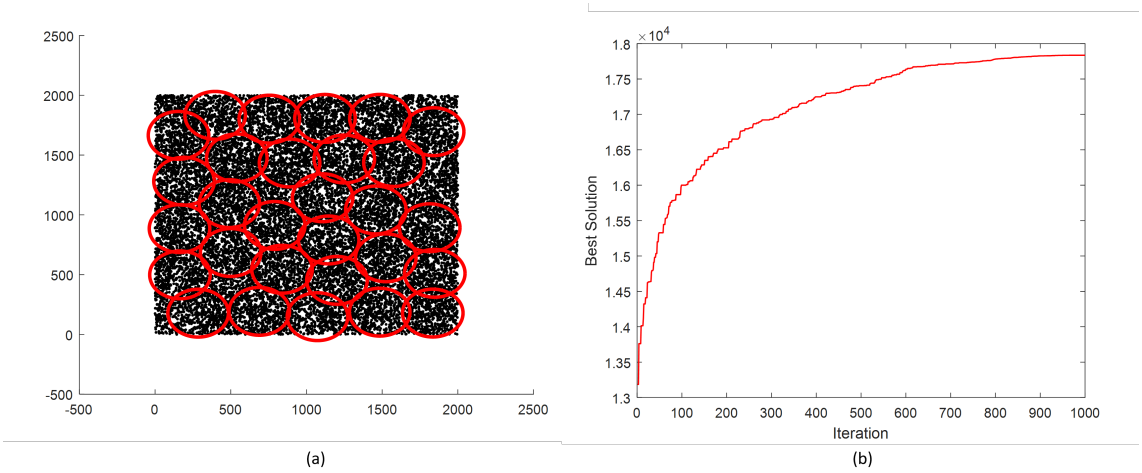
Parametreler	**Değerler**
Popülasyon Sayısı	100
Seçilim Yöntemi	Turnuva
Çaprazlama Yöntemi	BLX-α
Çaprazlama Oranı	0,8
Mutasyon Yöntemi	Non-uniform
Mutasyon Olasılığı	0,3
Titreşimsel Mutasyon Yöntemi	Random +/-5
Titreşimsel Mutasyon Olasılığı	0,1
Elitizm Oranı	0,2
İterasyon Sayısı	1000

Çalıştırılan GA sonucunda elde edilen düğüm konumları Şekil 4.8(a)'da ve GA iterasyon grafiği Şekil 4.8(b)'de görülmektedir. Gerçekleştirilen analizde hedef alana yerleştirilen 20000 noktadan 17676'sının düğümlerin kapsama alanı içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç kapsama oranının %88,38 olarak ölçüldüğünü ve GA'nın hedeflenen alanda yüksek bir kapsama başarısı gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.8. GA Sonrası, (a)Homojen Düğüm Konumları, (b)İterasyon Grafiği

Aynı düğümlere Tablo 4.16'da verilen GA parametreleri kullanan, 0,1 olasılıkla düğüm konumlarında +/-5 piksellik küçük titreşim etkisi yaratılarak mutasyon uygulanarak düğümler yeniden dağıtılmıştır. Bu işlemin sonucunda düğümlerin konumları Şekil 4.9(a)'da ve TGA iterasyon grafiği Şekil 4.9(b)'de görülmektedir.



Şekil 4.9. TGA Sonrası, (a) Homojen Düğüm Konumları, (b) İterasyon Grafiği

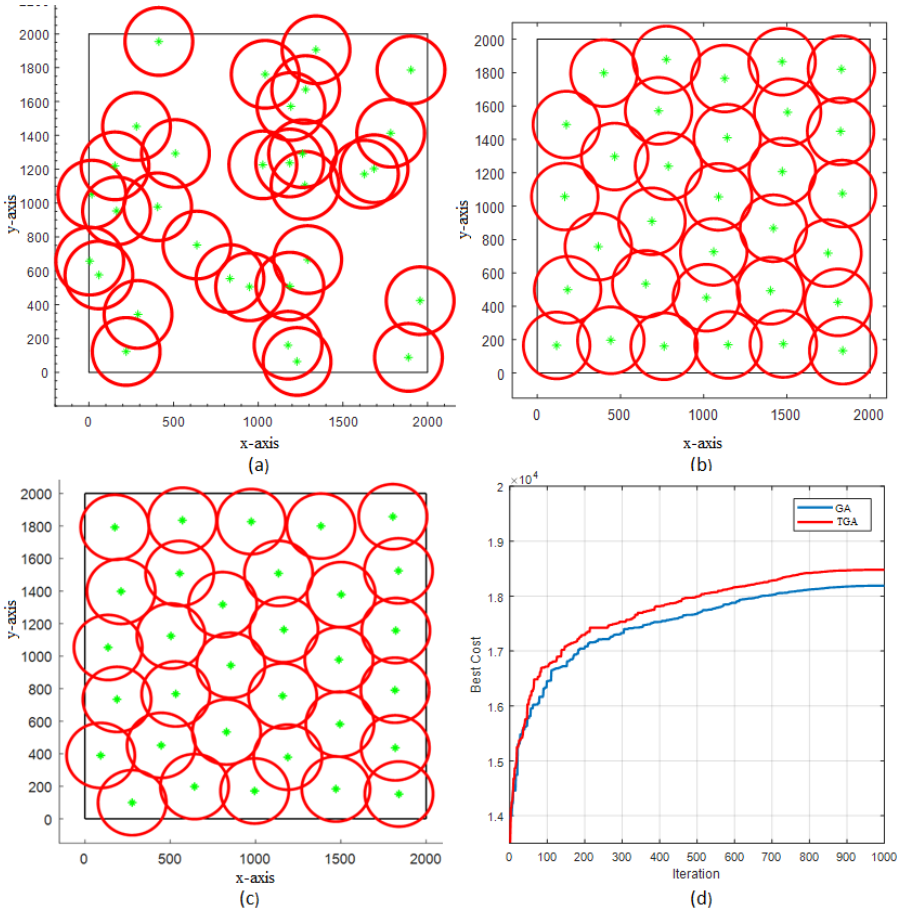
Tablo 4.17'de rastgele dağıtım, GA ve TGA sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan TGA'nın GA'ya göre daha fazla nokta kapsamış olduğu ve buna bağlı olarak TGA'nın hata oranının GA'ya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu veriler TGA'nın GA'ya göre daha etkili bir dağıtım yöntemi olduğunu ve kapsama alanı başarımındaki hatayı %20,7 oranında iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Tablo 4.17. Senaryo-1'e göre Homojen Düğümlerin Dağıtım Sonuçları

Metod	**Kapsanan Nokta Sayısı**	**Kapsama(%)**	**İşlem Süresi(sn)**	**Hata(%)**
Rastgele	11336	56,56	0,08	39,86
GA	17636	88,38	930	6,21
TGA	17836	89,18	968	5,38

Homojen düğümlerin dağıtımı problemi senaryosunda, Tablo 4.15'te verilen parametreler kullanılarak sadece düğüm sayısı 32 olarak değiştirilerek yeni bir senaryo oluşturulmuştur(**Senaryo-2**). Bu düğümlerin normal şartlarda deterministik yerleşim yöntemi ile hedef alanı tamamen kapsayacak sayıda olmasına dikkat edilmiştir.

Hedef alana r_s değeri 200 olan homojen düğümler rastgele dağıtılmıştır. Dağıtım sonrasında Şekil 4.10(a)'da görüldüğü gibi düğümlerin birbiri ile örtüşmesi ve kesişmesi sonucunda hedef alanı kapsama konusunda başarısız olduğu görülmektedir. Rastgele dağıtım yöntemi ile alanı kapsaması için ne kadar çok düğüm atılırsa atılsın istenen başarımın elde edilemeyeceği yapılan deneyler ile anlaşılmıştır. Bu sebeple bu zorlukların üstesinden gelmek adına optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasının önemli olduğu bir kez daha ortaya konmuştur.



Şekil 4.10. Homojen Düğümlerin Dağıtımı, (a) Rastgele, (b) GA, (c) TGA, (d) İterasyon Grafiği

GA ile dağıtılan düğümlerin dağılımı Şekil 4.10(b)'de, TGA ile dağıtılan düğümler Şekil 4.10(c)'de görülmektedir. GA ile dağıtımda kapsama boşlukları bulunduğu ve bazı düğümlerin hedef alanın sınırlarını aştığı görülmektedir. Öte yandan TGA ile dağılımın kapsama alanının genişletilmesine olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10(d)'de ise her iki algoritmanın karşılaştırmalı iterasyon grafiği, Tablo 4.18'de ise düğüm dağıtımında kullanılan yöntemlerin sonuçları verilmiştir. Sonuç olarak, benzer simülasyon parametreleri altında TGA'nın, kapsama alanını artırmada GA'ya kıyasla hatayı %15,31 oranında iyileştirdiği ortaya konmuştur.

Tablo 4.18. Senaryo-2'ye Göre Homojen Düğümlerin Dağıtım Sonuçları

Metod	**Kapsanan Nokta Sayısı**	**Kapsama(%)**	**İşlem Süresi(sn)**	**Hata(%)**
Rastgele	12310	61,55	0,10	38,78
GA	18187	90,93	808,08	9,55
TGA	18480	92,40	995,23	8,09

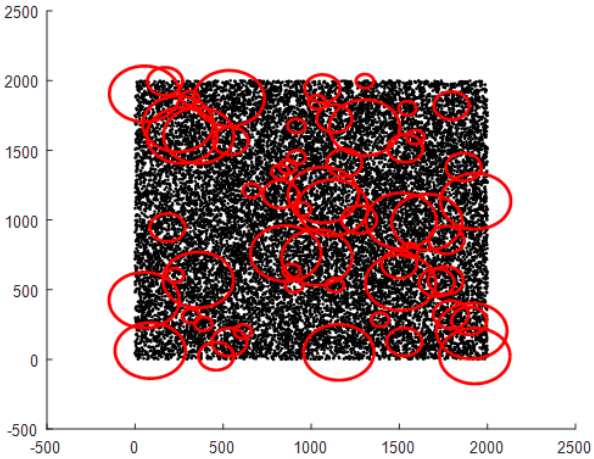
b) Heterojen Düğümlerin Dağıtımı

Heterojen düğümlerin dağıtımı, ağlarda farklı özelliklere sahip düğümlerin bulunduğu bir yapıyı ifade eder. Bu özellikler düğümlerin işlem gücü, bellek kapasitesi, ağ bağlantı hızı veya diğer faktörler gibi farklı performans özellikleri olabilir. Heterojen düğümlerin dağıtımı, homojen düğümlerin dağıtımına göre daha karmaşıktır.

Tablo 4.19. Heterojen Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-3)

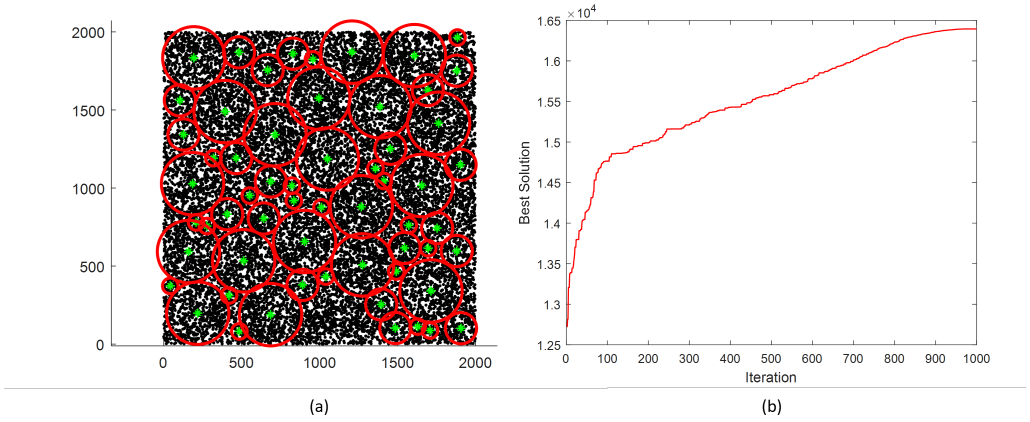
Özellikler	**Değerler**
Alan Boyutları	2000x2000 px
Dağıtılan Nokta Sayısı	20000
KAA Tipi	Heterojen
Farklı Düğüm Tipi Sayısı	3
Düğümlerin Algılama Aralıkları(r_s)	$r_1 = 50, r_2 = 100, r_3 = 200$ px
Düğüm Sayıları(n)	$n_1 = 20, n_2 = 20, n_3 = 20$

Çalışmanın bu kısmında Tablo 4.19'de yer alan parametreler kullanılarak düzgün şekilli bir hedef alana **boolean disk kapsama** modelini kullanan, **heterojen** yani farklı algılama aralıklarına sahip, her çeşitten 20'şer tane olmak üzere, ideal şartlarda hedef alanın %82,47'sini kapsayacak toplam 60 adet düğüm rastgele dağıtılarak yeni bir senaryo oluşturulmuştur**(Senaryo-3)**. Ardından, Şekil 4.11'da görüldüğü gibi rastgele koordinatlara yerleşerek istenen kapsama başarımını sağlayamayan düğümlerin konumları Tablo 4.16'te verilen parametrelere göre tasarlanan GA ve TGA ile değiştirilerek en etkin kapsama oranının bulunması hedeflenmiştir.



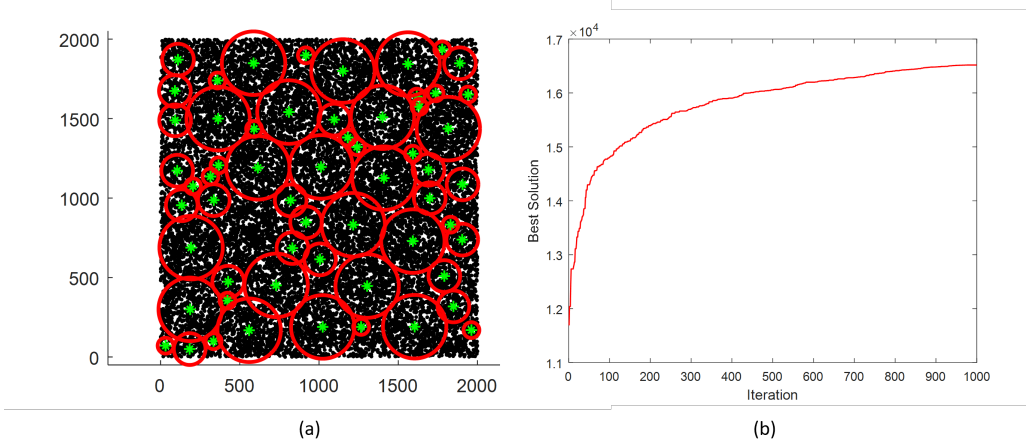
Şekil 4.11. Rastgele Dağıtım Sonrası Heterojen Düğümlerin Konumları

Heterojen düğümlerin dağıtımı için önceki bölümde Şekil 3.4'te verilen, her düğümün koordinatlarını ve algılama aralığı bilgisini tutan gen yapısına sahip kromozomlar oluşturulmuştur. Ardından GA ve TGA çalıştırılarak düğümlerin konumları değiştirilerek kapsama alanı artırılmaya çalışılmıştır. GA sonucunda düğümlerin konumları Şekil 4.12(a)'da, iterasyon grafiği ise Şekil 4.12(b) görülmektedir.



Şekil 4.12. GA Sonrası, (a)Heterojen Düğüm konumları, (b)İterasyon Grafiği

GA algoritmasına 0,1 olasılıkla rastgele mutasyon operatörü kullanan düğümlerin koordinatlarına +/-5 px'lik titreşim etkisi ile yer değişimi sağlayan evrimsel algoritma tabanlı TGA yaklaşımı uygulanmıştır. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi, bu uygulama sonucunda düğümler daha etkin bir şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.13. TGA Sonrası, (a)Heterojen Düğüm konumları, (b)İterasyon Grafiği

Dağıtılan 60 düğümün birbirleriyle örtüşmeden yerleşmesi durumunda kapsama alanlarının toplamı, geometrik formülle hesaplandığında hedef alanın %82,47'sine karşılık gelmektedir. GA ve TGA ile yapılan dağıtımlar sonucunda bu değere çok yakın başarımlar elde edildiği Tablo 4.20'de açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar KAA'larda heterojen düğümler kullanıldığında, düğümlerin daha az örtüşme gösterdiğini, kapsama başarımlarının arttığını ve hata oranının düştüğünü göstermektedir. GA ve TGA başarımlarını kıyasladığımızda, TGA'da kullanılan titreşim etkisi sayesinde düğümlerin daha dengeli dağıldığı ve daha etkin bir kapsama sağladığı ortaya konmuştur.

Tablo 4.20. Senaryo-3'e Göre Heterojen Düğüm Dağıtım Sonuçları

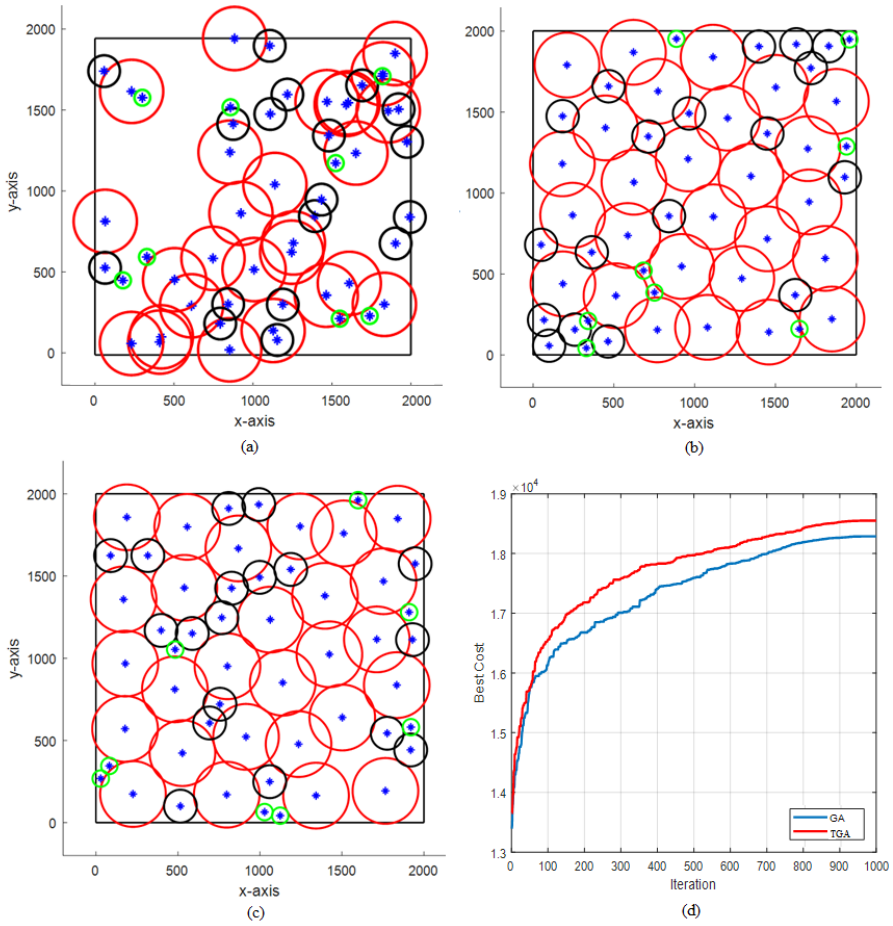
Metod	**Kapsanan Nokta Sayısı**	**Kapsama(%)**	**İşlem Süresi(sn)**	**Hata(%)**
Rastgele	10668	53,36	0,12	35,26
GA	16294	81,47	1932	1,21
TGA	16451	82,26	2189	0,25

Heterojen Düğüm Dağıtım problemi için hedef alanı tam olarak kapsayacak şekilde Tablo 4.21'de özellikleri verilen bir senaryo daha oluşturulmuştur**(Senaryo-4)**. Bu senaryoda, Senaryo-3'te her düğümden eşit sayıda dağıtılan 60 adet heterojen düğüm sayısı, algılama aralığı büyük olan düğümlerden daha fazla sayıda dağıtılarak 53'e düşürülmüş, ancak düğümlerin ideal kapsama alanı hedef alanı tam kapsayacak şekilde artırılmıştır. Buna göre düğümler öncelikle rastgele yerleşim yöntemi ile dağıtılmış ardın-

dan GA ve TGA çalıştırılıp, yeniden dağıtılarak kapsama başarımları ölçülmüştür.

Tablo 4.21. Heterojen Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-4)

Parametreler	**Değerler**
Alan Boyutları	2000x2000 px
Dağıtılan Nokta Sayısı	20000
KAA Tipi	Heterojen
Farklı Düğüm Tipi Sayısı	3
Düğümlerin Algılama Aralıkları	$r_1 = 50, r_2 = 100, r_3 = 200$ px
Düğüm Sayıları	$n_1 = 8, n_2 = 18, n_3 = 27$



Şekil 4.14. Heterojen Düğümlerin Dağıtımı, (a)Rastgele, (b)GA, (c)TGA, (d)İterasyon Grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.22'de görülmektedir. Şekil 4.14(a)'da rastgele düğüm dağıtım sonucunda düğümlerin etkin dağılmadığı ve sıklıkla belli bir bölgede örtüştüğü görülmektedir. Şekil 4.14(b)'de GA sonucunda ve Şekil 4.14(c)'de TGA sonucundaki dağılımları görülmektedir. GA ve TGA ile düğümlerin daha iyi dağılım gösterdiği ancak TGA'nın ufak bir farkla da olsa sonuçlarda iyileştirme yaptığı görülürken, Şekil 4.14(d)'de yer alan GA-TGA ikilisinin iterasyon grafiği incelendiğinde TGA'nın daha hızlı ve etkin sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.22. Senaryo-4'e Göre Heterojen Düğüm Dağıtım Sonuçları

Metod	**Kapsanan Nokta Sayısı**	**Kapsama(%)**	**İşlem Süresi(sn)**	**Hata(%)**
Rastgele	12204	61,02	0,11	38,98
GA	18268	91,34	1129,03	9,56
TGA	18550	92,75	1262,17	8,17

Bu bulgular TGA'nın düğüm dağılımında daha dengeli ve verimli bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, TGA ile yapılan optimizasyon sonucunda, GA ile optimize edilen kapsama alanı hata oranının %9,56'dan, %8,17'ye düşürülmüştür Böylece TGA ile hata %14,6 oranında iyileştirilmiştir.

4.2.2. Düzgün Olmayan Gerçek Haritalar Üzerinde Düğüm Dağıtımı

Düzgün olmayan alan, belirli bir geometrik şekle sahip olmayan veya sınırları net bir şekilde tanımlanamayan bölgelere denir. Bu alanlar genellikle karmaşık, asimetrik ve poligonal şekillerde olabilir. Girintili çıkıntılı sınırlar, doğal engeller, yapılar veya değişken çevresel koşullar nedeniyle düzensiz hale gelmiş alanlardır. Bu tür alanlarda düğüm yerleştirme ve izleme, düzenli geometrik şekillere sahip alanlara göre daha zorlayıcı ve karmaşıktır.

Literatürde mevcut birçok çalışma, düzgün şekilli, 2B düzlemsel perspektife sahip alanlar üzerinde düğüm dağıtma çalışmaları yapmış olsalar da bu çalışmalar tam olarak gerçekçi olmayıp; gerçek dünya koşullarını tam olarak yansıtmamaktadır. KAA'ların operasyonel alanları sürekli değişime uğrayan dinamik koşullara sahiptir. Bu değişkenlik uygu-

lama alanı içerisindeki binalar, nesneler, engeller gibi sürekli değişime uğrayabilen çeşitli faktörlerden kaynaklanabilmektedir. Yeni binalar inşa edilebilir, duvarlar ve engeller eklenebilir veya kaldırılabilir ve takip edilen nesnelerin konumları değişebilir. Bu sebeple düğüm dağıtımı yapılırken bu faktörler göz önüne alınmalıdır.

Tez çalışmasının bu kısmında, KAA dağıtımına daha gerçekçi bir bakış açısı sağlamak amacıyla, literatürde nispeten az görülen bir senaryo olan düzgün olmayan poligonal şekillere sahip gerçek haritalar üzerinde çalışılmıştır. Hedef olarak seçilen kampüs haritaları, göller ve değişken koşullar içeren dinamik çevre tanımını tam olarak karşılamaktadır. Burada amaç algılayıcı düğümlerin hedef alanları izlemeye olanak sağlayacak şekilde konuşlandırılmasıdır. Nihai hedef karmaşık coğrafi yapılara ve değişken çevre koşullarına uyum sağlayarak izlenebilirliği garanti eden uygulanabilir çözümler sunmaktır. Bu doğrultuda, çalışmada özellikle karmaşık coğrafi yapılar ve dinamik çevre koşulları dikkate alınarak, etkili ve sürdürülebilir KAA çözümleri geliştirilmesine odaklanılmıştır. Bu yaklaşımla kampüslerde olduğu gibi çeşitli karmaşık coğrafi yapılar için izlenebilirliğin sağlanmasına yönelik yenilikçi ve uygulanabilir yöntemler sunulması amaçlanmıştır.

a) Gerçek Harita-1 Üzerinde Düğüm Dağıtımı

Düzgün olmayan şekle sahip hedef alanlarda düğüm dağıtım senaryosu için Şekil 4.15(a)'da görülen Marmara Üniversitesi Maltepe Yerleşkesi'ne ait gerçek kampüs haritası MATLAB ortamında modellenmiştir. İlk önce harita, PNG formatında kaydedilerek, MATLAB ortamına aktarılmıştır. Ardından haritanın sınırları üzerinde işaretlenmiş noktalara ait koordinat bilgileri (x,y) bir diziye aktarılarak simülasyon ortamında yeniden görselleştirilmiştir. Daha sonra bu görselleştirilmiş hedef alan üzerinde Tablo 4.23'de verilen parametrelere sahip 3 farklı tipte toplam 60 adet heterojen düğüm rastgele dağıtılmıştır**(Senaryo-5)**.

Tablo 4.23. Gerçek Harita-1 Düğüm Dağıtım Parametreleri(Senaryo-5)

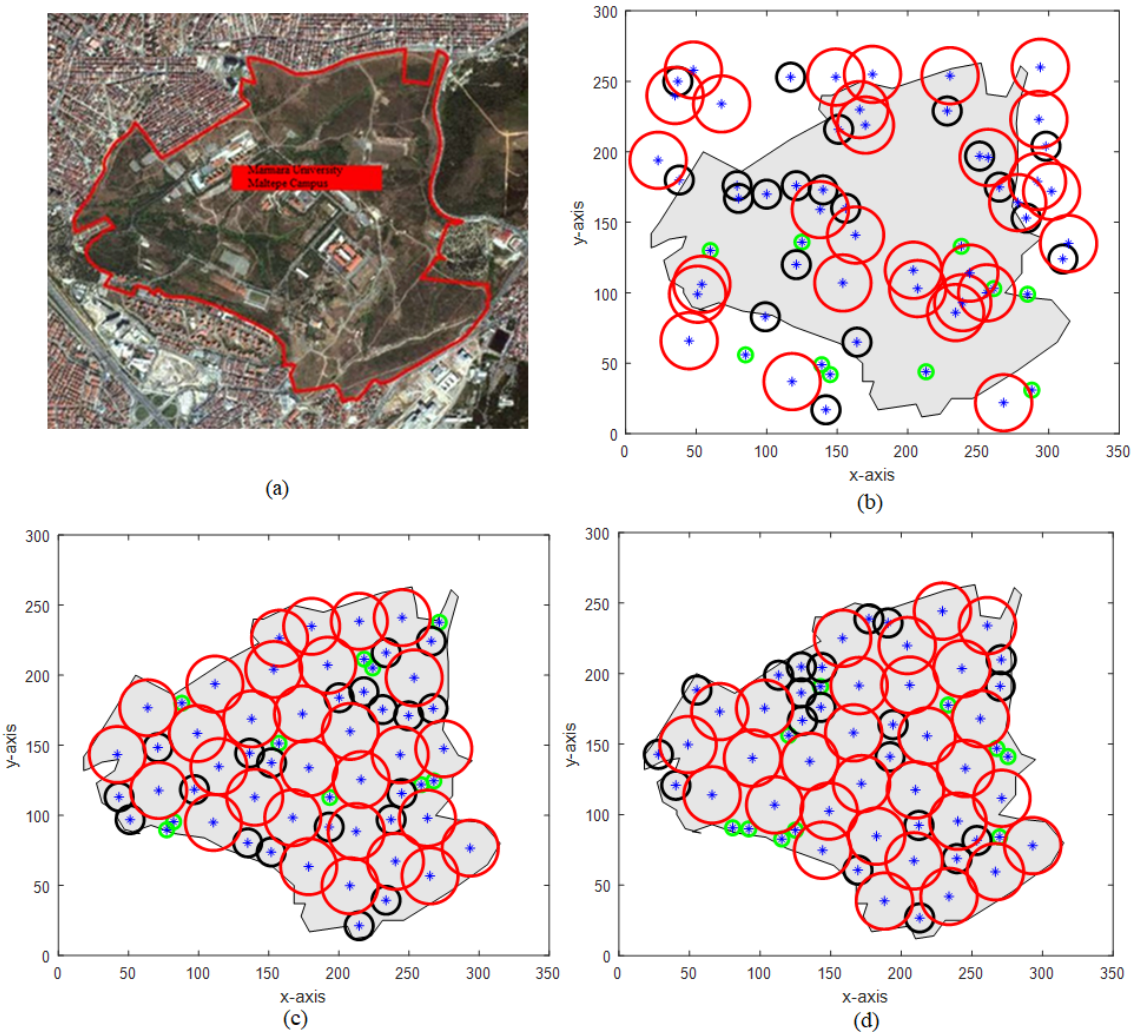
Parametreler	**Değerler**
Hedef Alan Modeli	Düzgün Olmayan (Poligonal) Alan
Çevre Koşulları	Dinamik
Atılan Nokta Sayısı	20000
KAA Çeşidi	Heterojen
Kullanılan Düğüm Çeşidi	3
Düğümlerin Algılama Aralıkları	r_1=5, r_2=10, r_3=20 px
Düğüm Sayısı	n_1=10, n_2=20, n_3=30

Şekil 4.15(a)'da hedef kampüs haritası, Şekil 4.15(b)'de rastgele dağıtım sonrası düğümlerin yerleşimi görülmektedir. Rastgele dağıtım sonucunda düğümlerin hedef alanın dışına çıktığı, bazılarının birbiriyle örtüştüğü ve kesiştiği görülmektedir. Bu sebeple de düğümlerin ancak hedef alanın %36,86'sını kapsadığı hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında kapsama alanını artırmak için Tablo 4.16 verilen parametreleri kullanan GA ile düğümler yeniden dağıtılmıştır. Düğümlerin Şekil 4.15(c)'de görüldüğü gibi dağılmış ve hedef alanı %90 oranında kapsadığı ölçülmüştür. TGA kullanılarak dağıtıldığında ise kapsama oranı %91,78 olarak ölçülmüştür. Bu değer önceki iki orandan daha yüksektir ve Şekil 4.15(d)'de görüldüğü üzere düğümlerin daha etkin şekilde konumlandığı gözlemlenmiştir.

TGA, kapsama alanı artırmada GA'ya kıyasla alan hesabındaki hatayı yaklaşık %17,8; rasgele dağıtıma göre %87 oranında optimize etmiştir. Bu sonuç TGA'nın kapsama alanı optimizasyonunda daha etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir

b) Gerçek Harita-2 Üzerinde Düğüm Dağıtımı

İkinci olarak Şekil 4.16(a)'da görülen, düzgün olmayan şekle sahip, içerisinde bir göl ve çeşitli binaların bulunduğu farklı bir üniversite haritası kullanılmıştır. Bu haritanın seçilmesindeki amaç, hedef alanda düğümlerin kapsamaması gereken bölgelerin olmasıdır. Burada algılayıcı düğümlerinin bu yasaklı veya istenmeyen bölgelerden kaçınarak konumlandırılması senaryosu ele alınmıştır.



Şekil 4.15. Gerçek Harita-1 Düğüm Dağıtımı, (a) Kampüs Haritası (b) Rastgele, (c) GA, (d) TGA

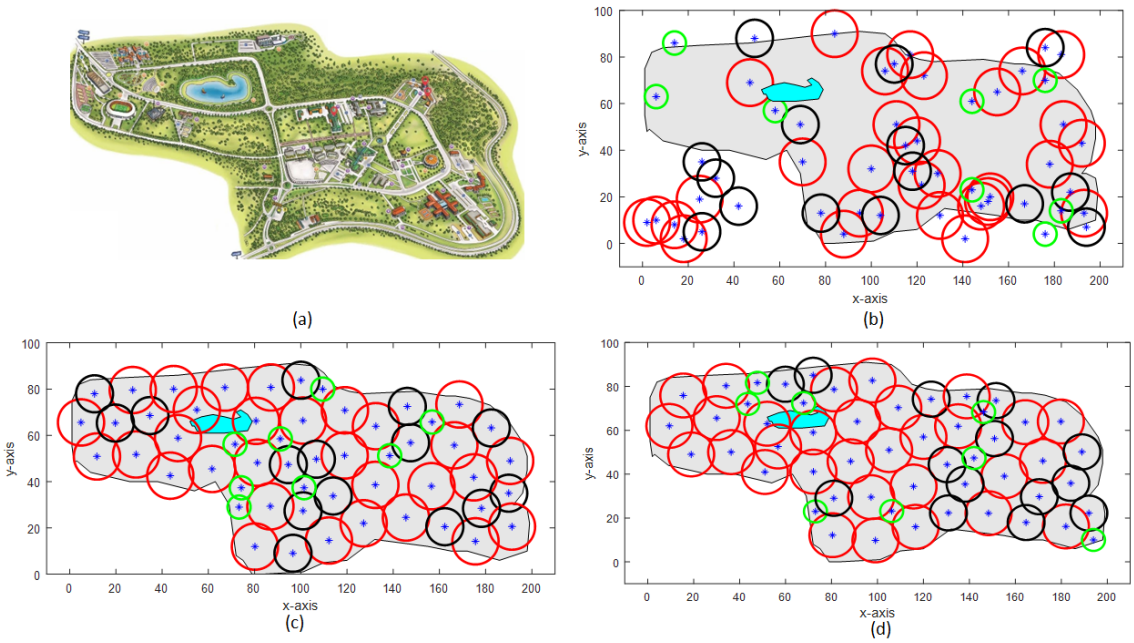
Öncelikle MATLAB ortamında bu haritanın dış sınırları ve göletin konumu işaretlenerek harita modellenmiştir. Ardından hedef alanı kapsayacak şekilde Tablo 4.24'te belirtilen parametrelerle heterojen özelliklere sahip toplam 53 adet algılayıcı düğüm rastgele dağıtılmıştır **(Senaryo-6)**. Rastgele dağıtım sonucunda, Şekil 4.16(b)'deki düğümlerin hedef alanın %49,31'ini kapsadığı ölçülmüştür.

Tablo 4.24. Gerçek Harita-2 Düğüm Dağıtım Parametreler(Senaryo-6)

Parametreler	**Değerler**
Hedef Alan Modeli	Düzgün Olmayan (Poligonal) Alan
Çevre Koşulları	Dinamik
Atılan Nokta Sayısı	20000
KAA Çeşidi	Heterojen
Kullanılan Düğüm Çeşidi	3
Düğümlerin Algılama Aralıkları	r_1=5, r_2=8, r_3=10 px
Düğüm Sayısı	n_1=8, n_2=15, n_3=30

Kapsama alanını artırmaya yönelik yapılan çalışmalarda düğümler GA ve TGA uygulanarak yeniden dağıtılmıştır. Bu süreçte düğümlerin gölet gibi istenmeyen alanlardan kaçınarak yerleştirilmesi amaçlanmıştır. İstenmeyen alanlara düğüm yerleşimini engellemek amacıyla bir ceza sistemi tasarlanmıştır. Bu ceza sisteminde eğer düğümler gölet veya benzeri şekilde düğüm yerleştirilmesi istenmeyen alanlara konumlandığında, kapsanan nokta sayısından (uygunluk değeri) 20.000 puan düşürülmektedir. Sonuç olarak bu tür cezalandırılan çözümler popülasyonda düşük performans gösterir ve dolayısıyla seçilme olasılıkları azalır. Bu yaklaşım düğüm konumlandırılması istenmeyen alanların olduğu senaryolarda daha verimli çözümlerin ortaya çıkmasını sağlar.

Uygulanan yöntemler sonucunda elde edilen bulgulara göre GA ile dağıtılan düğümler Şekil 4.16(c)'de görüldüğü üzere düğümlerin bir yandan göletin üzerinde konumlanmasını önleyip, diğer yandan da gölet alanının izlenmesini sağlayacak ve boşluk bırakılmadan hedef alanın %91,9'unu kapsayacak şekilde dağıtılmıştır. TGA yaklaşımıyla düğüm konumlarına uygulanan küçük titreşimsel mutasyon işlemi sonucunda ise bu kapsama oranı %92,35'e yükseltilmiştir. TGA sonucunda dağıtılan düğümlerin konumları Şekil 4.16(d)'de görülmektedir.



Şekil 4.16. Gerçek Harita-2 Düğüm Dağıtımı, (a) Kampüs Haritası (b) Rastgele, (c) GA, (d) TGA

5. SONUÇLAR

Algılayıcı düğümlerinin dağıtımı KAA sistemlerinin genel etkinliğini belirlemek için kritik bir öneme sahiptir. Düğümlerin optimal olmayan bir şekilde dağıtımı yetersiz kapsama alanı ve enerji tüketiminde dengesizlikler gibi sorunlar veri toplama ve iletiminde önemli gecikmelere neden olabilmektedir. Bu zorluklar yanıt sürelerini etkileyerek ağın genel performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu çalışmanın temel amacı KAA'larda etkinliği artırmak için en uygun parametrelerin belirlenerek, algılayıcı düğümlerinin kapsama alanını artırmaktır.

KAA sistemlerinde kapsama alanını genişletirken algılayıcı düğümlerin sayısını azaltmak, ağ verimliliği ve maliyet etkinliği açısından kritik bir hedeftir. Bu hedefe ulaşmak için yapılan mevcut çalışmalarda, algılayıcı düğümlerin stratejik planlaması ve konumlandırılması üzerine odaklanarak optimize edilmiş dağıtım yöntemleri geliştirilmiştir. Algılayıcı düğümlerin en verimli konumlarını belirlemek amacıyla evrimsel algoritma tabanlı yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Bu algoritmalar, düğüm algılama aralığı, çevresel engeller ve öncelikli alanlar gibi kritik faktörleri göz önünde bulundurarak çalışmaktadır. Evrimsel algoritmalar, özellikle karmaşık ve değişken koşullar altında optimal düğüm yerleşimlerini belirlemek için sistematik bir arama yaparak, KAA sistemlerinin kapsama alanını ve işlevselliğini maksimize etmeyi amaçlar. Bu süreç sistem performansını artırmak ve uygulama verimliliğini maksimize etmek için en uygun yerleşim stratejilerini belirlemeyi sağlar. Algılayıcı düğümlerin dağıtımında kullanılan optimizasyon yöntemleri yalnızca hedef alanın kapsamlı bir şekilde izlenmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gerekli algılayıcı sayısını azaltarak maliyet düşüşlerine katkıda bulunur. Bu optimizasyon stratejisi KAA sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde temel bir rol oynar ve çeşitli uygulamalar için daha verimli, güvenilir ve maliyet etkin çözümler sunar.

Bu çalışmada KAA sistemlerinin çeşitli yönlerini, örneğin düğüm tipleri, algılama modelleri, çeşitli hedef alanları, düğüm dağıtım yöntemleri, kısıtları ve KAA tasarımları gibi başlıkları detaylı bir şekilde incelenerek bunların kullanım alanlarının ve etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar algoritmanın performansını değerlendirmek ve farklı parametrelerin etkilerini anlamak açısından önemli bulgular sunmaktadır. Söz konusu faktör ve parametreler ile birçok problem senaryosu modellenerek, KAA'ların dağıtımında kapsama alanının artırılması üzerine çalışılmıştır.

Bu çalışmada, planlı düğüm dağıtımının mümkün olmadığı alanlarda, rasgele düğüm dağıtımı sonrasında kapsama alanlarını artırmak amacıyla konumları değiştirilebilen mobil KAA'lar kullanılmıştır. Mobil düğümlerin kullanımı ile, statik düğümlerin sınırlamalarını telafi etme potansiyeli gösterilmiştir. Mobil düğümler, kör noktaları veya geçici olarak daha fazla gözetim gerektiren alanları etkili bir şekilde kapsama yeteneğine sahip olup, bu da algılayıcı ağının esnekliğini ve uyarlanabilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Çalışmada öncelikli olarak kullanılacak yöntemlerin ve parametrelerin belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, hesaplaması ve hata oranları kolayca belirlenebilecek şekilde homojen düğümler, deterministik dağıtım metodu ile dağıtılarak simülasyon ortamları hazırlanmıştır. Yürütülen deneysel çalışmalarda, kapsama alanı hesaplaması için uygun yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. KAA sistemlerinde düğüm dağıtımında, düğümlerin kapsama alanlarının kısmen veya tamamen örtüşmesi durumunda toplam kapsama alanının matematiksel olarak hesaplanmasının zorluğu bilinmektedir. Bu zorluğu aşmak için öncelikle ölçeklenebilir ve kontrol edilebilir alanlarda düğüm dağıtımı yapılarak görüntü işleme teknikleriyle kapsama alanı hesaplaması yapılmıştır. Ancak, yüksek işlem süreleri ve piksel kayıpları nedeniyle istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Bu problemin çözümü için çalışma kapsamında, hata oranı düşük ve hızlı çalışan "Nokta Sayma Metodu" adı verilen yeni bir kapsama alanı hesaplama yöntemi önerilmiştir. Nokta Sayma Metodu, özellikle düzgün olmayan alanlarda ve karmaşık topografik yapılarla başa çıkabilme yeteneği sayesinde diğer geleneksel yöntemlere kıyasla avantajlar sunmaktadır. Deneysel çalışmalar bu yöntemin doğru-

luğunu ve pratikliğini kanıtlamıştır. Örneğin, 1000x1000px boyutundaki hedef alanda Tablo 4.5 de verilen 7 nolu satırdaki durumda elde edilen %78,54'lük kapsama oranının, %78,54 lük teorik maksimuma eşit bir sonuç olarak hesaplanması dikkat çekicidir. Bu durum Nokta Sayma Metodu'nun kapsama hesaplamalarında güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgulara göre özellikle küçük boyutlu hedef alanlarda hata yüzdelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenirken, öte yandan büyük boyutlu hedef alanlarda hata oranlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu durum hedef alanlarda nokta sayma yöntemi için dağıtılmış noktaların yoğunluğunun dengeli olması ve düğümlerin daha verimli bir şekilde dağıtılmasıyla ilişkilidir. Yani küçük hedef alanlarda gereğinden fazla nokta atılması hatayı artırmaktadır. Bu çalışmada 100x100px ile 5000x5000px'lik alanlar için atılan nokta sayısı 10000, 20000, 30000 olmak üzere hep sabit tutulmuştur. En küçük alan (10K piksel) ve en büyük alan (25M piksel) için sabit nokta sayısı kullanmak yerine, belli oranda değerleri uyarlayarak kullanmak hata değerini düşürecektir.

Ayrıca kullanılan düğüm sayısı arttıkça işlem yükünün de ciddi oranda artış göstermesi sebebiyle düğüm dağıtımı yapılırken, algılama aralığı büyük ve daha az sayıda düğüm kullanılması tercih edilmelidir.

Kapsama alanı hesabında kullanılan görüntü işleme ve nokta sayma yöntemlerinin aynı parametreler altında yapılan deneylerdeki performanslarının karşılaştırılması sonucunda, ideal kapsama alanının %78,54 olduğu durumda görüntü işleme yöntemi ile elde edilen ortalama kapsama başarımı %76,49 olarak bulunmuştur. Bu hata, görüntü işleme yöntemindeki piksel kayıplarından kaynaklanmaktadır ve dağıtılan düğümlerin algılama aralığı küçüldükçe hata oranı ters orantılı olarak artmaktadır. Aynı şartlar altında nokta sayma yöntemi ile kapsama alanı hesaplamaları yapılmış ve 10000, 20000 ve 30000 nokta dağıtılarak yapılan hesaplamalarda ise kapsama başarımları sırasıyla %78,86, %78,86 ve %78,87 olarak bulunmuştur. Burada belli farklılıklar olmakla birlikte Nokta sayma yönteminde hata değerleri, görüntü işleme yönteminden daha düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca

yapılan deneylerin bazılarında ideal sonuca neredeyse eşit sonuçlar da elde edilmiştir.

Homojen özellikli düğümlerle yapılan deneylerden sonra, çalışma heterojen özellikler gösteren düğümlerle devam ettirilmiştir. Heterojen düğümler farklı algılama aralıklarına, farklı enerji tüketimlerine, farklı batarya kapasitesi, işlem gücüne ve iletişim yeteneklerine sahip olabilmektedir. Bu çeşitlilik, ağın belirli görevlerde daha yüksek performans göstermesini sağlayabilir ve enerji yönetimi açısından esneklik sunar. Örneğin, daha güçlü işlemcilere veya daha büyük bataryalara sahip düğümler, belirli bölgelerde daha yoğun veri işleme veya uzun süreli enerji sağlama yeteneklerine sahip olabilir. Ancak bu farklılıklar aynı zamanda ağın yönetimini daha karmaşık hale getirir ve maliyetlerin artmasına neden olabilir. Sonuç olarak; Homojen KAA'lar basitlik ve maliyet etkinlik açısından avantajlı iken, heterojen KAA'lar daha fazla esneklik ve özel görevlerde daha yüksek performans sunar. Uygulama gereksinimlerine bağlı olarak, bu iki KAA tipi arasında yapılacak seçim, sistemin ihtiyaçlarına ve hedeflerine göre değişkenlik göstermektedir.

Çalışmanın bir diğer önemli odak noktası, düğümlerin en iyi veya en iyiye yakın dağıtımını (konumlandırılmasını) sağlamak için evrimsel algoritmaların sunduğu avantajlardan yararlanılmasıdır. KAA kapsama sorunlarını çözmek için GA ve bu çalışmada önerilmiş olan GA tabanlı TGA yaklaşımına odaklanılmıştır. GA, geniş arama alanları ve çok sayıda olası çözüm içeren ortamlarda karmaşık optimizasyon zorluklarını etkili bir şekilde ele alır. Dinamik ayarlara uyum, paralel yürütme ve çok amaçlı optimizasyondaki başarıları, KAA'larda kapsama alanı, enerji tüketimi, ağ ömrü ve veri doğruluğunu dengelemede kritik rol oynamaktadır. GA, başlangıç popülasyonundaki çözümler üzerinden iteratif bir şekilde daha iyi çözümler üretirken, çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile genetik çeşitliliği korumaktadır. TGA ise GA'nın klasik mutasyon işlemlerine ek olarak düğümlerin konumlarına küçük titreşimler uygulayarak daha hassas yerleşim ayarı yapma imkanı sunmaktadır. Bu yaklaşım, geniş arama alanları ve çok sayıda olası çözüm durumu olan ortamlarda kullanılarak KAA'larda düğüm yerleşiminin daha etkin ve kapsama oranının daha yüksek olmasını sağlamıştır.

Düzgün alanlarda, TGA yöntemi GA'ya göre daha uzun işlem süresine ihtiyaç duysa da, hem homojen hem de heterojen düğüm dağıtımı sonuçlarına göre daha düşük hata oranları ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Hedef alanı tamamen kapsayacak şekilde düğüm dağıtımı yapılan simülasyon senaryolarında, TGA yöntemi, homojen düğüm dağıtımında hata oranını GA'ya kıyasla yaklaşık %15,31; heterojen düğüm dağıtımında ise yaklaşık %14,6 oranında iyileştirme sağlamıştır. Düzgün olmayan hedef alanlarda yapılan deneyler de, TGA'nın özellikle karmaşık ve zorlu koşullar altında etkili bir dağıtım sergilediği görülmüştür. Özetle TGA, geleneksel GA'ya göre daha fazla işlem yükü gerektirip; işlem süresini %11,79 oranında uzatsa da, maliyet ve verimlilik açısından önemli kazançlar sağlamaktadır. Önerilen algoritmanın kapsama oranı, genellikle ana performans ölçütü olarak kabul edilir. Ancak bu oran, kullanılan algılayıcı düğümlerinin hem sayısına hem özelliklerine hem de dağıtım yapılan hedef alanın fiziksel özelliklerine bağlı olarak karmaşık bir şekilde değişkenlik gösterebilir.

Bu çalışmanın önemli katkılarından biri, gerçek dünya koşullarını doğru bir şekilde yansıtmak amacıyla, düğüm dağıtımında sınırları ve düzgün olmayan alanlar, izlenmesi istenmeyen yapılar, göller ve diğer engeller gibi faktörlerin dikkate alınmasıdır. Bu çerçevede, göller, denizler ve binalar gibi izlenmesi istenmeyen bölgeleri içeren düzgün olmayan şekle sahip alanlarda düğüm dağıtımının yapılabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca ölçeklenebilir alanlarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgular, heterojen düğümlerin homojen düğümlere kıyasla daha yüksek uyum ve esneklik sağladığını göstermiştir. Bu bulgular ve önerilen yaklaşımlar, KAA'ların gerçek dünya senaryolarında karşılaştığı karmaşık zorluklarla başa çıkma potansiyelini artırmakta ve ölçeklenebilirliği sağlamaktadır. Böylece, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve sistem esnekliğinin artırılması sağlanarak, daha verimli KAA çözümleri geliştirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

5.1. Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmanın odak noktası; 2B düzgün ve düzgün olmayan hedef alanlar üzerinde düğüm dağıtımı yapılmasıdır. Mevcut çalışmalarda KAA'lar genellikle düzenli ve engelsiz alanlarda dağıtılırken gerçek dünya uygulamaları ise yapılar ve engellerle dolu düzgün olmayan alanları içerir. Bu çalışma KAA'ların düzgün ve düzgün olmayan alanlarda nasıl çalıştığının daha iyi anlaşılmasına, bu koşullara özel olarak uyarlanmış modellerin geliştirilmesine ve bu modellerde kapsama alanının artırılmasına odaklanmıştır. Ancak gerçek dünya problemleri 3B ve karmaşık alanlardan oluşmaktadır, bu sebeple daha gerçekçi uygulamalar ve sonuçlar için 3B hedef alanların modellenmesi gerekmektedir. Bu durum gelecekteki araştırmalarımız için önemli bir yol haritası sunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada önerilen kapsama alanı hesaplama yönteminin, 3B hedef alanların farklı şekil ve boyutlarına uyum sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada çok yönlü antenli KAA'lar ve Boolean Disk algılama modeli kullanılmıştır. Ancak gerçek dünya senaryolarında bu algılayıcıların, tekdüze yapılı tasarımlardan farklı olarak kapsama alanları ve modellerini sergileyebilecekleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değişkenlik, daha incelikli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu nedenle, uygulamaya göre tek yönlü antenlere sahip, KAA'ların kullanımı ile Elfes ve Gölge Sönümlemeli algılayıcı modellerinin sistem tasarımına entegre edilmesi, karmaşık ortamlarda algılayıcı davranışının ve kapsamının daha gerçekçi ve etkili bir şekilde modellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca tek yönlü antenlerin kullanımı başka avantajlar sunmaktadır. Bu antenler, bireysel algılayıcıların erişim alanını önemli ölçüde genişleterek, çok yönlü muadillerine kıyasla daha uzun menzillerde kapsama sağlarlar. Bu genişletilmiş kapsama, algılayıcı ağının genel etkinliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda daha yüksek düğüm yoğunluğuna olan ihtiyacını da düşürür.

Bu öneriler KAA araştırma alanında yenilikçi çözümler geliştirmeyi ve mevcut bilgi birikimini genişletmeyi amaçlamaktadır. Dinamik ve hızla gelişen bu alanda yapılacak

çalışmalar, KAA teknolojisinin daha ileri seviyelere taşınmasına ve çeşitli uygulama alanlarında daha etkin ve verimli çözümler sunulmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Egwuche, O. S., Singh, A., Ezugwu, A. E., Greeff, J., Olusanya, M. O., and Abualigah, L., "Machine learning for coverage optimization in wireless sensor networks: a comprehensive review," *Annals of Operations Research*, 2023.

[2] Wang, R.-B., Hu, R.-B., Geng, F.-D., and Xu, L., "Improved dv-hop based on parallel compact willow catkin optimization algorithm for 3d nodes localization in wsn," *Wireless Networks*, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s11276-023-03638-5

[3] Olatinwo, S. O. and Joubert, T.-H., "Enabling communication networks for water quality monitoring applications: A survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 100 332–100 362, 2019.

[4] Shakeri, M., Sadeghi-Niaraki, A., Choi, S.-M., and Islam, S. M. R., "Performance analysis of iot-based health and environment wsn deployment," *Sensors*, 2020.

[5] Gulati, K., Boddu, R. S. K., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., and Saravanan, G., "A review paper on wireless sensor network techniques in internet of things (iot)," *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 161–165, 2022.

[6] Birtane, S., Sahingoz, O. K., and Korkmaz, H., "Vibrational genetic algorithm-based deployment of wireless sensor networks with heterogeneous nodes in irregularly shaped areas," *IEEE Access*, 2024.

[7] Al-Mousawi, A. J., "Evolutionary intelligence in wireless sensor network: routing, clustering, localization and coverage," *Wireless Networks*, vol. 26, no. 8, pp. 5595–5621, 2020.

[8] Banoori, F., Kashif, M., Arslan, M., Chakma, R., Khan, F., and Al Mamun, A., "Deployment techniques of nodes in wsn and survey on their performance analysis," in *2018 International Conference on Advanced Control, Automation and Artificial Intelligence (ACAAI 2018)*. Atlantis Press, 2018, pp. 236–238.

[9] Elhoseny, M., Tharwat, A., Farouk, A., and Hassanien, A. E., "K-coverage model based on genetic algorithm to extend wsn lifetime," *IEEE Sensors Letters*, 2017.

[10] Farsi, M., Elhosseini, M. A., Badawy, M., Ali, H. A., and Eldin, H. Z., "Deployment techniques in wireless sensor networks, coverage and connectivity: A survey," *Ieee Access*, vol. 7, pp. 28 940–28 954, 2019.

[11] Idrees, A. K. and Yaseen, W. L. A., "Distributed genetic algorithm for lifetime coverage optimisation in wireless sensor networks," *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*, 2021.

[12] Karatas, M., "Optimal deployment of heterogeneous sensor networks for a hybrid point and barrier coverage application," *Computer Networks*, 2018.

[13] Hanh, N. T., Binh, H. T. T., Hoai, N. X., and Palaniswami, M. S., "An efficient genetic algorithm for maximizing area coverage in wireless sensor networks," *Information Sciences*, vol. 488, pp. 58–75, 2019.

[14] Khalaf, O. I., Abdulsahıb, G. M., and Sabbar, B. M., "Optimization of wireless sensor network coverage using the bee algorithm," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 377–386, 2020.

[15] Mnasri, S., Nasri, N., and Val, T., "An overview of the deployment paradigms in the wireless sensor networks," *Performance Evaluation and Modeling in Wireless Networks (PEMWN 2014)*, 2014.

[16] Nasri, N., Mnasri, S., and Val, T., "3d node deployment strategies prediction in wireless sensors network," *International Journal of Electronics*, vol. 107, no. 5, pp. 808–838, 2020.

[17] Patil, R. R. and Suresha,, "Deployment algorithms in wsn-a study," *2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2015.

[18] Priyadarshi, R., Gupta, B., and Anurag, A., "Deployment techniques in wireless sensor networks: a survey, classification, challenges, and future research issues," *The Journal of Supercomputing*, 2020.

[19] Sharma, V., Patel, R., Bhadauria, H., and Prasad, D., "Deployment schemes in wireless sensor network to achieve blanket coverage in large-scale open area: A review," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 45–56, 2016.

[20] Tarnaris, K., Preka, I., Kandris, D., and Alexandridis, A., "Coverage and k-coverage optimization in wireless sensor networks using computational intelligence methods: a comparative study," *Electronics*, vol. 9, no. 4, p. 675, 2020.

[21] Tossa, F., Abdou, W., Ezin, E. C., and Gouton, P., "Improving coverage area in sensor deployment using genetic algorithm," in *Computational Science–ICCS 2020: 20th International Conference, Amsterdam, The Netherlands, June 3–5, 2020, Proceedings, Part V 20*. Springer, 2020, pp. 398–408.

[22] Tossa, F., Abdou, W., Ansari, K., Ezin, E. C., and Gouton, P., "Area coverage maximization under connectivity constraint in wireless sensor networks," *Sensors*, 2022.

[23] Wang, L., Wu, W., Qi, J., and Jia, Z., "Wireless sensor network coverage optimization based on whale group algorithm," *Computer Science and Information Systems*, 2018.

[24] Wang, Z., Xie, H., He, D., and Chan, S., "Wireless sensor network deployment optimization based on two flower pollination algorithms," *IEEE Access*, 2019.

[25] Yarinezhad, R. and Hashemi, S. N., "Exact and approximate algorithms for clustering problem in wireless sensor networks," *IET Communications*, 2020.

[26] Yoon, Y. and Kim, Y.-H., "An efficient genetic algorithm for maximum coverage deployment in wireless sensor networks," *ieee transactions on cybernetics*, vol. 43, no. 5, pp. 1473–1483, 2013.

[27] Zameni, M., Rezaei, A., and Farzinvash, L., "Two-phase node deployment for target coverage in rechargeable wsns using genetic algorithm and integer linear programming," *The Journal of Supercomputing*, vol. 77, pp. 4172–4200, 2021.

[28] Basirnezhad, M., Houshmand, M., Hosseini, S. A., and Jalali, M., "Optimizing coverage in wireless sensor networks using the cheetah meta-heuristic algorithm," *2023 7th International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, vol. Not available, p. Not available, OCT 2023. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1109/iot60973.2023.10365363

[29] Binh, H. T. T., Hanh, N. T., Quan, L. V., and Dey, N., "Improved cuckoo search and chaotic flower pollination optimization algorithm for maximizing area coverage in wireless sensor networks," *Neural Computing and Applications*, vol. 30, pp. 2305–2317, DEC 2016. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1007/s00521-016-2823-5

[30] Cheng, J., Fang, Y., and Jiang, N., "Research on wireless sensor networks coverage based on fruit fly optimization algorithm," *2023 IEEE 3rd International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA)*, 2023.

[31] Gupta, A., Mamatha, K. M., and Kiran, M., "Energy efficient coverage optimization in mobile wireless sensor network using grey wolf algorithm," *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2023.

[32] Hanh, N. T., Binh, H. T. T., Hoai, N. X., and Palaniswami, M. S., "An efficient genetic algorithm for maximizing area coverage in wireless sensor networks," *Information Sciences*, 2019.

[33] Liu, W., Yang, S., Sun, S., and Wei, S., "A node deployment optimization method of wsn based on ant-lion optimization algorithm," *2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS)*, 2018.

[34] Mottaki, N. A., Motameni, H., and Mohamadi, H., "An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for maximizing network lifetime using coverage sets scheduling in wireless sensor networks," *The Journal of Supercomputing*, 2022.

[35] Nematzadeh, S., Torkamanian-Afshar, M., Seyyedabbasi, A., and Kiani, F., "Maximizing coverage and maintaining connectivity in wsn and decentralized iot: an efficient metaheuristic-based method for environment-aware node deployment," *Neural Computing and Applications*, vol. 35, pp. 611–641, SEP 2022. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1007/s00521-022-07786-1

[36] Wang, Z., Xie, H., Hu, Z., Li, D., Wang, J., and Liang, W., "Node coverage optimization algorithm for wireless sensor networks based on improved grey wolf optimizer," *Journal of Algorithms & Computational Technology*, vol. 13, p. 1748302619889498, 2019.

[37] Yin, J., Deng, N., and Zhang, J., "Wireless sensor network coverage optimization based on yin–yang pigeon-inspired optimization algorithm for internet of things," *Internet of Things*, vol. 19, p. 100546, AUG 2022. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1016/j.iot.2022.100546

[38] Yoon, Y. and Kim, Y.-H., "An efficient genetic algorithm for maximum coverage deployment in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2013.

[39] ZainEldin, H., Badawy, M., Elhosseini, M., Arafat, H., and Abraham, A., "An improved dynamic deployment technique based on genetic algorithm (iddt-ga) for maximizing coverage in wireless sensor networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020.

[40] Zeng, C., Qin, T., Tan, W., Lin, C., Zhu, Z., Yang, J., and Yuan, S., "Coverage optimization of heterogeneous wireless sensor network based on improved wild horse optimizer," *Biomimetics*, vol. 8, no. 1, 2023.

[41] Birtane, S. and Özgür Koray Şahingöz,, "Data gathering from a large scale wireless sensor network with means of unmanned aerial vehicles," *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, vol. Not available, p. Not available, MAY 2016. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1109/siu.2016.7496187

[42] Bucarelli, N. and El-Gohary, N., "Sensor deployment configurations for building energy consumption prediction," *Energy and Buildings*, p. 113888, 2024. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778824000045

[43] Benefit, A., "The evolution of wireless sensor networks," *Silicon Lab. Inc., Austin, TX, USA, White Paper Rev*, vol. 1, pp. 1–5, 2013.

[44] Eris, C., Saimler, M., Gungor, V. C., Fadel, E., and Akyildiz, I. F., "Lifetime analysis of wireless sensor nodes in different smart grid environments," *Wireless networks*, vol. 20, pp. 2053–2062, 2014.

[45] Yarinezhad, R. and Hashemi, S. N., "A sensor deployment approach for target coverage problem in wireless sensor networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020.

[46] Ding, S., Chen, C., Zhang, Q., Xin, B., and Pardalos, P., *Metaheuristics for resource deployment under uncertainty in complex systems*. CRC Press, 2021.

[47] Erturk, I. and Chmielewski, I., "Improving drone data gathering wsn application performance with a predefined p-based approach for slotted p-persistent csma mac," in *2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*. IEEE, 2022, pp. 1–5.

[48] Ghahroudi, M. S., Shahrabi, A., Ghoreyshi, S. M., and Alfouzan, F. A., "Distributed node deployment algorithms in mobile wireless sensor networks: Survey and challenges," *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2023.

[49] Tripathi, A., Gupta, H. P., Dutta, T., Mishra, R., Shukla, K., and Jit, S., "Coverage and connectivity in wsns: A survey, research issues and challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26 971–26 992, 2018.

[50] Tossa, F., Abdou, W., Ansari, K., Ezin, E. C., and Gouton, P., "Area coverage maximization under connectivity constraint in wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 22, no. 5, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/5/1712

[51] Lalama, Z., Boulfekhar, S., and Semechedine, F., "Localization optimization in wsns using meta-heuristics optimization algorithms: A survey," *Wireless Personal Communications*, vol. 122, no. 2, pp. 1197–1220, 2022.

[52] Sharma, N. and Gupta, V., "Meta-heuristic based optimization of wsns localisation problem-a survey," *Procedia Computer Science*, vol. 173, pp. 36–45, 2020.

[53] Holland, J., "Adaptation in natural and artificial systems, 1975," 1991.

[54] Beyer, H.-G. and Schwefel, H.-P., "Evolution strategies–a comprehensive introduction," *Natural computing*, vol. 1, pp. 3–52, 2002.

[55] Holland, J. H., "Genetic algorithms," *Scientific american*, vol. 267, no. 1, pp. 66–73, 1992.

[56] Lv, Y., Liu, P., Wang, J., Zhang, Y., Slowik, A., and Lv, J., "Ga-based feature selection method for oversized data analysis in digital economy," *Expert Systems*, vol. 41, no. 1, p. e13477, 2024. [Online]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/exsy.13477

[57] Şahin, Y., Karagül, K. *et al.*, "Solving travelling salesman problem using hybrid fluid genetic algorithm (hfga)," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 25, no. 1, pp. 106–114, 2019.

[58] Zainuddin, F. A. and Samad, M. F. A., "A review of crossover methods and problem representation of genetic algorithm in recent engineering applications," *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 29, no. 6s, 2020.

[59] Hassanat, A., Almohammadi, K., Alkafaween, E., Abunawas, E., Hammouri, A., and Prasath, V. B. S., "Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms—a review with a new dynamic approach," *Information*, vol. 10, no. 12, 2019. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2078-2489/10/12/390

[60] Song, Y., Wang, F., and Chen, X., "An improved genetic algorithm for numerical function optimization," *Applied Intelligence*, vol. 49, pp. 1880–1902, 2019.

[61] Guariso, G. and Sangiorgio, M., "Improving the performance of multiobjective genetic algorithms: An elitism-based approach," *Information*, vol. 11, no. 12, 2020. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2078-2489/11/12/587

[62] Akar, S. B., Korkmaz, H., and Sahingoz, O. K., "Efficient deployment of wireless sensor nodes with evolutionary approaches," *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2022.

[63] Salvi, M., Acharya, U. R., Molinari, F., and Meiburger, K. M., "The impact of pre- and post-image processing techniques on deep learning frameworks: A comprehensive review for digital pathology image analysis," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 128, p. 104129, 2021. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482520304601

[64] Balaji, S., Anitha, M., Rekha, D., and Arivudainambi, D., "Energy efficient target coverage for a wireless sensor network," *Measurement*, vol. 165, p. 108167, 2020.

[65] Akram, J., Munawar, H. S., Kouzani, A. Z., and Mahmud, M. P., "Using adaptive sensors for optimised target coverage in wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 1083, 2022.

[66] Liao, Z., Wang, J., Zhang, S., Cao, J., and Min, G., "Minimizing movement for target coverage and network connectivity in mobile sensor networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 7, pp. 1971–1983, 2014.

[67] Xu, Y., Ding, O., Qu, R., and Li, K., "Hybrid multi-objective evolutionary algorithms based on decomposition for wireless sensor network coverage optimization," *Applied Soft Computing*, vol. 68, pp. 268–282, 2018.

[68] Hacioglu, A. and Ozkol, I., "Vibrational genetic algorithm as a new concept in airfoil design," *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 74, no. 3, pp. 228–236, 2002.

[69] Hanifi, S., Cammarono, A., and Zare-Behtash, H., "Advanced hyperparameter optimization of deep learning models for wind power prediction," *Renewable Energy*, vol. 221, p. 119700, 2024.

[70] Lim, S. M., Sultan, A. B. M., Sulaiman, M. N., Mustapha, A., and Leong, K. Y., "Crossover and mutation operators of genetic algorithms," *International journal of machine learning and computing*, vol. 7, no. 1, pp. 9–12, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sibel BİRTANE AKAR

Öğrenim Durumu

Derece	**Bölüm / Program**	**Üniversite / Lise**	**Yılı**
Lisans	Bilgisayar ve Kontrol Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2005-2009
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2017-2020
Y.Lisans	Elektronik-Bilgisayar Eğitimi	Marmara Üniversitesi	2009-2013
Doktora	Bilgisayar Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2017-2024

İş Deneyimi

Görevi	**Firma / Kurum**	**Yılı**
Öğretim Görevlisi	İstanbul Arel Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	2009-Halen

Bilimsel Eserler

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

1. Birtane, S., Sahingoz, O. K., Korkmaz, H. (2024). Vibrational Genetic Algorithm-based Deployment of Wireless Sensor Networks with Heterogeneous Nodes in Irregularly Shaped Areas. **IEEE Access**, vol. 12, pp. 62926-62941. (SCI-E)
2. Korkmaz, H., Canayaz, E., Birtane Akar S., and Altikardes, Z. A., (2019). Fuzzy logic-based risk assessment system giving individualized advice for metabolic syndrome and fatal cardiovascular diseases. *Technology and Health Care*, vol. 27, pp. 59–66. (SCI-E)
3. Calik, S. K., Kuğu, E., Birtane Akar, S., Sahingoz, O. K., (2016). A multi-agent solution for UAV path planning problem with NetLogo. *International Journal of Applied Engineering Research*, vol.11, no.15, 8397-8401. (Scopus)
4. Birtane, S. and Korkmaz, H., (2014). Rule-based fuzzy classifier for spinal deformities. *Bio-Medical Materials and Engineering*, vol. 24, pp. 3311–3319. (SCI-E)

Bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

1. Birtane Akar, S., Korkmaz, H., Şahingöz, Ö. K. Efficient Deployment of Wireless Sensor Nodes with Evolutionary Approaches, *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2022, Ankara, TURKİYE.
2. Korkmaz, H., Canayaz, E., Birtane Akar, S., Altikardes, Z. Fuzzy Logic Based Risk Assessment System Giving Individualized Advice For Metabolic Syndrome and Fatal Cardiovascular Diseases, *The 7th International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology (ICBEB 2018)*, 2018, Nanjing.
3. Birtane, S., Canayaz, E., Altikardes, Z. A., Korkmaz, H. Development of decision support system using Mamdani type fuzzy logic clusters for metabolic syndrome risk assessment. *In 2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) IEEE*, 2017, Trabzon, TURKİYE.
4. Birtane Akar, S., Şahingöz, Ö. K. Evrimsel Algoritma Tabanlı Algılayıcı Düğüm Dağıtımı, *The International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 2016, Malatya, TURKİYE.

5. Birtane Akar, S., Şahingöz, Ö.K. Data gathering from a large scale Wireless Sensor network with means of Unmanned Aerial Vehicles, *IEEE 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016, Zonguldak, TURKİYE.

6. Birtane Akar, S., Şahingöz, Ö. K. Solving asymmetric travelling salesman problem using genetic algorithm, *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015, Malatya, TURKIYE.

7. Çelik, B., Birtane, S., Dikbıyık, E., Erdal, H. Liquid level process control with fuzzy logic-based embedded system, *In 2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2015, Bursa, TURKİYE.

8. Birtane Akar, S., Yılmaz, G. Etmen Tabanlı Uçuş Eğitim Uygulaması. *15th International Educational Technology Conference*, 2015, İstanbul, TURKİYE.

9. Birtane S., Korkmaz, H. Rule-Based Fuzzy Classifier For Spinal Deformities, *The 3rd. International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology*, 2014, Nanjing.

10. Ersoy, S., Coşgun, E., Birtane, S., Korkmaz, H. Sağlık Sektörü İçin Hassas Sıvı Akış Kontrol Otomasyonu. *2.EGE- AR-GE ve Teknoloji Günleri Patent Yarışması*, 2012, Ege Üniversitesi, İzmir, TURKİYE.

11. Ersoy, S., Korkmaz, H., Coşgun, E., Birtane S. Hassas Medikal Sıvı Akış Kontrol Otomasyonu, *II. Ulusal Tıp Bilişimi Kongresi - Turkmia'10 (pp.117-122)*, 2010, Gazimagusa, KKTC.

12. Korkmaz, H., Birtane, S., Coşgun, E. Ölçme Ve Enstrümantasyon Dersi Laboratuar Uygulamalarına Yönelik Öğretim Materyali Geliştirme, *10. Uluslararası Eğitim Teknolojileri Konferansı, 10th International Educational Technology Conference Exhibition*, 26-28 Nisan 2010, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, TURKİYE.