

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROMAGNETİZMA – BENZER ALGORİTMASI KULLANILARAK  
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARININ OPTİMİZASYONUNUN  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**RECEP ÖZDAĞ**

**DOKTORA TEZİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**EKİM 2015**

Tezin Başığı : Elektromagnetizma – Benzer Algoritması Kullanılarak  
Kablosuz Algılayıcı Ağların Optimizasyonunun  
Gerçekleştirilmesi

Tezi Hazırlayan : Recep ÖZDAĞ

Sınav Tarihi : 23.10.2015

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim  
Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Sınav Jüri Üyeleri

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali KARCI** .....  
İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU** .....  
Bingöl Üniversitesi

**Doç.Dr. Celaleddin YEROĞLU** .....  
İnönü Üniversitesi

**Doç.Dr. Asım KAYGUSUZ** .....  
İnönü Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇINAR** .....  
Fırat Üniversitesi

**Prof. Dr. Alaattin ESEN**  
Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Elektromagnetizma – Benzer Algoritması Kullanılarak Kablosuz Algılayıcı Ağların Optimizasyonunun Gerçekleştirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Recep ÖZDAĞ

# ÖZET

Doktora Tezi

## ELEKTROMAGNETİZMA – BENZER ALGORİTMASI KULLANILARAK KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARININ OPTİMİZASYONUNUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Recep Özdağ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

109 + xii sayfa

2015

Danışman: Prof. Dr. Ali KARCI

Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'lar kapsama alanı içerisinde birbirinden bağımsız olarak çalışan algılayıcıları kullanarak farklı ortamlardaki sıcaklık, nem, ses, nesne hareketleri gibi fiziksel ya da çevresel koşulların izlenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. KAA'daki algılayıcıların rastgele dağıtım sonrası dinamik dağıtımlarının optimize edilmesi ilgili ağın kapsama oranını artırarak ağın performansını doğru orantılı bir şekilde geliştirir. Ayrıca KAA'daki mobil algılayıcıların ilgili alandaki konumlarını belirleyen dinamik dağıtımlarının etkin olarak yapılması, algılayıcıların daha hızlı bir şekilde birbirine yakınsamalarını gerçekleştirerek algılayıcıların kısa sürede optimum konuma yerleşmesi sağlanır.

Tez çalışmasındaki amacımız; KAA'daki algılayıcıların dinamik dağıtımlarının optimize edilmesi için elektromanyetik alanda yüklü parçacık teoremine göre çalışan ve popülasyon tabanlı meta-sezgisel bir algoritma olan Elektromagnetizma – Benzer (EM) Algoritması ile alandaki algılayıcıların dinamik dağıtımlarının optimum şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Önerilen EM algoritmasını temel alan Optimum Algılayıcı Tarama Algoritması (OSDA-EM) geliştirilip dinamik dağıtım modellerine uygulanarak KAA'da optimum bir kapsama alanının oluşturulması hedeflenmiştir. Öncelikle geliştirilen OSDA-EM algoritması İkili Tarama Modeline ilgili alandaki sadece mobil algılayıcılar kullanılarak uygulanmış ve sonrasında Olasılıksal Tarama Modeline hem mobil hem de statik algılayıcılar ile uygulanarak alanın kapsama oranının değişimi incelenmiştir. Geliştirilen OSDA-EM'nin MATLAB ortamında uygulaması yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde KAA'ların dinamik dağıtımında önerilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) tabanlı algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Son olarak da gerçek bir ortam uygulaması yapılarak OSDA-EM'nin etkinliği ölçülmüştür.

Sonuç olarak, geliştirilen OSDA-EM'nin algılayıcı düğümlerin dinamik dağıtımında en iyi sonuçlar verdiği ve dağıtık KAA'nın optimize edilmesinde tercih edilebileceği irdelenerek tartışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER :** Elektromagnetizma – Benzer Algoritması, Kablosuz Algılayıcı Ağlar, İkili Tarama Modeli, Olasılıksal Tarama Modeli, Optimum Dinamik Dağıtım

## **ABSTRACT**

Ph.D.Thesis

### **REALIZATION OF OPTIMIZATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS BY ELECTROMAGNETISM-LIKE ALGORITHM**

Recep Özdağ

İnönü University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Computer Engineering

109 + xii pages

2015

Supervisor: Prof. Dr. Ali KARCI

Wireless Sensor Networks (WSNs) are used to observe physical or environmental conditions such as heat, moisture, sound, object movements in different conditions by using sensors which behave independently from each other in coverage area. The optimization of dynamic deployments after the random deployment of sensors in WSN increases the coverage rate of the related network and as a result develops directly proportional to the performance of the network. Furthermore, the realization of efficient dynamic deployment which determines the positions in the related area of mobile sensors that are in WSN enables the sensors to converge faster and as a result locate in the optimal position in a short period of time.

In this thesis, our purpose is to achieve dynamic deployment of the sensors in the area in an optimal way so as to optimize the dynamic deployment of sensors in WSN with Electromagnetism-like (EM) algorithm which is a population based meta-heuristic algorithm and works according to loaded particle theorem in electromagnetic area. Optimal Sensor Detection Algorithm (OSDA-EM), which considers the proposed EM algorithm as a basis, is improved and by applying it to deployment models, and optimal coverage area in WSN is obtained. Firstly, OSDA-EM, which has been improved, has been applied to binary detection model using only mobile sensors in the related area and then the change of the coverage rate has been searched by applying it to probabilistic detection model both with mobile and stationary sensors. The application of the improved OSDA-EM in MATLAB has been performed and the results, which have been obtained, have been compared with Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC) based algorithms in literature, which is proposed in the dynamic deployment of WSN. Finally, the efficiency of OSDA-EM has been measured by performing applications in an authentic environment.

Consequently, it has been determined that the improved OSDA-EM has provided optimal results in dynamic deployment of the sensor nodes and it has been discussed that it can be preferred in the optimization of the distributed WSN.

**KEYWORDS:** Electromagnetism-Like Algorithm, Wireless Sensor Networks, Binary Detection Model, Probabilistic Detection Model, Optimal Dynamic Deployment

## TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamn her aşamasında bilgi ve tecrübelerinin yanısıra ilgi ve teŐvikleriyle de bana destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali KARCI'ya;

Kablosuz Algılayıcı AĞlar konusundaki uzmanlaŐmamda bana örnek olan TOBB Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği öğretim üyelerinden hocam Sayın Doç. Dr. Bülent TAVLI'ya;

ÇalıŐmalarım boyunca, bana destek olan Anabilim Dalındaki tüm değerli hocalarıma;

Görev yaptığım üniversitede bulunduğum birimdeki iÇ yoğunluğuna rağmen doktora çalışması yapmamda bana maddi ve manevi her türlü destek veren BBAUM Müdürüm Sayın Doç. Dr. H. Eray ÇELİK'e;

Ayrıca doktora çalıŐmalarım süresince bana hep sabırla davranan ve hep yanımda olan sevgili eŐim Serap ÖZDAĞ'a, kızıma, aileme ve tüm arkadaşlarıma

teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Güncelliği.....	3
1.2. Tezin Amacı.....	4
1.3. Amaca Ulaşmak için Tezde Çözümlenen Problemler.....	4
1.4. Tezin Pratik Önemi .....	4
1.5. Tezde Yapılan Çalışmalar .....	5
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>6</b>
2.1. KAA'ların Uygulama Alanlar .....	6
2.1.1. Askeri uygulamalar .....	6
2.1.2. Çevresel uygulamalar .....	6
2.1.3. Sağlık uygulamaları .....	6
2.1.4. Ev uygulamaları .....	7
2.1.5. Ticari uygulamalar .....	7
2.2. KAA'ların Tasarımını Etkileyen Faktörler .....	7
2.2.1. Hata toleransı .....	8
2.2.2. Ölçeklenebilirlik.....	8
2.2.3. Donanım kısıtlamaları.....	9
2.2.4. Üretim maliyeti .....	11
2.2.5. KAA topolojisi .....	11
2.2.6. İletim ortamı.....	12
2.2.7. Enerji tüketimi.....	14
2.3. KAA'larda Hizmet Kalitesi.....	14
2.3.1. Kapsama.....	15
2.3.2. Bağlanabilirlik.....	15
2.4. KAA'larda Kapsama Probleminin Sınıflandırılması .....	16
2.4.1. Ağ dağıtımları .....	16
2.4.2. Düğüm algılama .....	17
2.4.3. Hedef karakteristikleri.....	18

2.4.4.	Uygulama öznelikleri.....	18
2.4.5.	İzlenen alanlar .....	19
2.5.	Kapsama Stratejileri.....	19
2.5.1.	Grid tabanlı strateji.....	20
2.5.2.	Hesaplamalı geometri tabanlı strateji.....	22
2.5.3.	Hedef kapsama stratejisi .....	25
2.5.4.	<i>K</i> -kapsama tabanlı strateji .....	25
2.5.5.	Yol-kapsama stratejisi.....	26
2.6.	Elektromagnetizma – Benzer Algoritması.....	31
2.6.1.	EM algoritmasının genel yapısı .....	31
2.6.2.	“Tanımlama” yordamı.....	32
2.6.3.	“Yerel arama” yordamı .....	33
2.6.4.	“Yük ve toplam kuvvet hesaplama” yordamı .....	33
2.6.5.	“Bileşke kuvvet yönünde yer değiştirme” yordamı .....	36
<b>3.</b>	<b>YENİ BİR ALGILAYICI DAĞITIM YÖNTEMİ: OSDA-EM.....</b>	<b>37</b>
3.1.	Giriş.....	37
3.2.	EM ile KAA’ların Dinamik Dağıtımı .....	37
3.3.	Önerilen Yöntem için Algılayıcı Tarama Modellerini Esas Alan Kapsama Oranı ...	38
3.3.1.	İkili tarama modeli için OSDA-EM ile önerilen kapsama oranı hesabı.....	38
3.3.2.	Olasılıksal tarama modeli için OSDA-EM ile önerilen kapsama oranı hesabı .....	41
3.4.	EM Algoritmasını Esas Alan Optimum Algılayıcı Tarama Algoritması .....	44
3.5.	İkili Tarama Modeli ile OSDA-EM’nin Dinamik Dağıtıma Uygulanması.....	47
3.6.	Olasılıksal Tarama Modeli ile OSDA-EM’nin Dinamik Dağıtıma Uygulanması ....	51
<b>4.</b>	<b>DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>55</b>
4.1.	Orijinal ABC ve PSO Algoritmaları için Parametre Seçimi .....	55
4.2.	İkili Tarama Modeli için OSDA-EM ile Örnek Çalışma Uygulamaları .....	56
4.2.1.	Örnek çalışma 1: iterasyon sayısına göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar ..	56
4.2.2.	Örnek çalışma 2: iterasyon sayısına göre alanın kapsanma oranları.....	58
4.2.3.	Örnek çalışma 3: <b>OptNSN</b> ’ye göre alanın kapsanma oranları.....	59
4.2.4.	Örnek çalışma 4: algılayıcıların enerji tüketimleri açısından toplam yer değiştirme mesafeleri .....	61
4.2.5.	Örnek çalışma 5: kapsama alanları çakışan algılayıcıların <i>k</i> -kapsama derecesi .....	63
4.2.6.	İdeal ortamdaki uygulamalar ile algoritmaların karşılaştırılması.....	65
4.3.	Olasılıksal Tarama Modeli için OSDA-EM ile Örnek Çalışma Uygulamaları.....	69
4.3.1.	Grid noktalarının TO değerini belirleyen ölçüm parametreleri.....	70
4.3.2.	Eşik mesafesine göre çakışan alandaki grid noktalarının TO değeri .....	71
4.3.3.	<i>K</i> -kapsama derecesine göre çakışan alandaki grid noktalarının TO değeri .....	73
4.3.4.	Örnek çalışma 1: iterasyon sayısına göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar ..	75



4.3.5.	Örnek çalışma 2: <i>OptNSN</i> parametresi ve iterasyon sayısına göre alanın kapsama oranları .....	76
4.3.6.	Örnek çalışma 3: <i>OptNSN</i> parametresine göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar .....	78
4.3.7.	Örnek çalışma 4: mobil algılayıcıların toplam yer değiştirme mesafeleri .....	80
4.3.8.	Örnek çalışma 5: tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların $k$ -kapsama derecesi .....	81
4.3.9.	İdeal ortamdaki uygulamalar ile algoritmaların karşılaştırılması.....	83
4.4.	Gerçek Ortamda Yapılan Örnek Bir Uygulama .....	87
4.4.1.	Örnek uygulama için OSDA-EM'deki parametrelerinin tanımlanması .....	89
4.4.2.	AP'lerin mevcut konumları ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları .....	89
4.4.3.	15 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları .....	92
4.4.4.	20 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları .....	93
4.4.5.	25 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları .....	95
4.4.6.	Örnek uygulamadan elde edilen sonuçlar .....	96
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>98</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>103</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>108</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bir algılayıcı düğümün donanım yapısı .....	10
Şekil 2.2.	Kapsama probleminin sınıflandırması.....	16
Şekil 2.3.	(a) Deterministik, (b) Rastgele yerleşim.....	17
Şekil 2.4.	Üçgen ağ.....	20
Şekil 2.5.	Altıgen ağ.....	21
Şekil 2.6.	Dörtgen ağ.....	21
Şekil 2.7.	Petek ağ .....	22
Şekil 2.8.	(a) Voronoi şeması (b) Voronoi çokgeni.....	24
Şekil 2.9.	Delaunay üçgenlemesi.....	25
Şekil 2.10.	(a) Farklı pozlara sahip A ve B arasındaki farklı yollar (b) Kare algılama alanında tek algılayıcı için $M_nEP$ (c) Dışbükey çokgen ile sınırlandırılan bir algılayıcı alanda tek bir algılayıcı için $M_nEP$ [41] .....	28
Şekil 2.11.	(a) Rastgele dağıtılan 10 düğümün Voronoi diyagramı (b) S düğümü için Voronoi çokgeni, S ve onun komşusunun bağlantı hatlarının dik açıortayını çizilerekten oluşturuldu (c) Aynı küme düğümler için Delaunay üçgenlemesi .....	29
Şekil 2.12.	(a) Voronoi diyagramı ve $M_xBP$ 'nin örnekleri (b) Delaunay üçgenlemesi ve $M_xSP$ , S ve D kaynak ve hedef noktalarıdır .....	30
Şekil 2.13.	Süper pozisyon ilkesi.....	34
Şekil 2.14.	A parçacığına uygulanan $F_{total}$ bileşke kuvveti.....	35
Şekil 3.1.	Kapsama haritasının Grid noktaları ile temsili .....	39
Şekil 3.2.	Algılayıcılar tarafından (a) çakışmanın oluşmadığı ve (b) çakışmanın olduğu durumlardaki konumları .....	42
Şekil 3.3.	Optimum algılayıcı dağılımı [68].....	46
Şekil 3.4.	Tasarlanan Algoritma 7'nin akış diyagramı .....	50
Şekil 3.5.	Tasarlanan Algoritma 8'nin akış diyagramı .....	54
Şekil 4.1.	İterasyon sayısına göre senaryolardaki ortalama $OptMSN$ değişim grafiği .....	57
Şekil 4.2.	Algılayıcıların (a) rastgele dağılımı , (b) 200 iterasyon ile optimum dağılımı ..	59
Şekil 4.3.	$OptNSN$ esas alınarak alanın kapsama oranlarının değişim grafiği .....	61
Şekil 4.4.	Her bir uygulamaya göre alandaki tüm algılayıcıların toplam hareket mesafelerinin değişim grafiği .....	63
Şekil 4.5.	(a) 2 algılayıcı, (b) 3 algılayıcı, (c) 4 algılayıcı ile oluşan çakışma alanları ve bu alanlardaki kapsanan Grid noktalar .....	65
Şekil 4.6.	Algılayıcıların belirtilen iterasyonlar ile dinamik dağıtımları sonrası ilgili alandaki konumları: (a) başlangıç, (b) 100 iterasyon, (c) 500 iterasyon, (d) 2000 iterasyon, (e) 5000 iterasyon, (f) 10000 iterasyon.....	67
Şekil 4.7.	OSDA-EM, orijinal ABC ve PSO algoritmalarının ilgili alandaki kapsama oranları grafiği .....	68
Şekil 4.8.	Öklid mesafesine göre $\lambda$ ve $\beta$ ölçüm parametrelerinin değişim grafiği .....	71

Şekil 4.9.	<i>si</i> ve <i>sj</i> algılayıcılarının oluşturduğu çakışma alanı içindeki her bir <i>P</i> Grid noktasının TO değerlerinin eşik mesafesine göre değişimi.....	72
Şekil 4.10.	<i>k</i> -kapsama derecesi ve ölçüm parametrelerine göre çakışan algılayıcıların kapsadığı Grid noktalarının ortalama TO değeri.....	75
Şekil 4.11.	İterasyon sayısına göre ortalama <i>OptMSN</i> 'nin değişim grafiği.....	76
Şekil 4.12.	(a) Statik algılayıcıların rastgele dağılımı, (b) tüm algılayıcıların 100 iterasyon sonundaki optimum dağıtımları.....	77
Şekil 4.13.	Çalıştırılan iterasyonlar ile <i>OptNSN</i> parametresi esas alınarak alanın kapsama oranlarının değişim grafiği.....	79
Şekil 4.14.	Her bir uygulamadaki 20 mobil algılayıcının toplam yer değiştirme mesafesi grafiği.....	81
Şekil 4.15.	<i>k</i> -kapsama derecesi sırasıyla (a) 2, (b) 3, (c) 4, (d) 5 olan algılayıcı düğümler ve bunların çakışma alanında kapsadığı Grid noktalar.....	83
Şekil 4.16.	OSDA-EM ile (a) 80 statik algılayıcının rastgele dağıtımı (%82.34), (b) 50 iterasyon sonrası (%98.27), (c) 100 iterasyon sonrası (%99.10), (d) 250 iterasyon sonrası (%99.42), (e) 500 iterasyon sonrası (%99.63) ve (f) 1000 iterasyon sonrası (%99.76) mobil algılayıcıların dinamik dağılımları ve alandaki optimum konumları.....	85
Şekil 4.17.	OSDA-EM, orijinal ABC ve PSO algoritmalarının alandaki kapsama oranlarına göre performanslarının karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.18.	Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde kurulu olan Wi-Fi'nin kısmi dikdörtgen kesitinin 3-boyutlu haritası.....	88
Şekil 4.19.	Kısmi kampüs alanının 2-boyutlu kapsama haritası.....	88
Şekil 4.20.	AP cihazlarının mevcut konumları: 1-Edebiyat Fakültesi, 2- Lojmanlar 6.Blok, 3-Veteriner Fakültesi A Blok, 4-Merkezi Konferans Salonu, 5- Van Meslek Yüksekokulu, 6- Eğitim Fakültesi C Blok, 7- Rektörlük Binası.....	90
Şekil 4.21.	Dinamik dağılımı yapılan 7 adet AP cihazının konumları ve AP'ler tarafından kapsanmayan yerleşkeler: 1-Isı Santrali ve Yapı İşleri, 2-Kredi Yurtları, 3-Edebiyat Fakültesi, 4-Lojmanlar, 5- Fen Fakültesi, 6- Merkezi Konferans Salonu, 7-Özel Kız ve Erkek Yurtları, 8- Tıp ve Eczacılık Fakülteleri ve Radyoloji Laboratuvarları.....	91
Şekil 4.22.	Rastgele dağıtımı yapılan 15 adet AP cihazının alandaki konumları.....	92
Şekil 4.23.	Dinamik dağılımı yapılan 15 adet AP cihazının konumları ve kapsanmayan yerleşkeler: 1- Kredi Yurtlar (kısmen), 2- Lojmanlar (kısmen), 3- Fen Fakültesi, 4-Eğitim Fakültesi, 5-Özel Erkek Yurdu.....	93
Şekil 4.24.	Rastgele dağıtımı yapılan 20 adet AP cihazının alandaki konumları.....	94
Şekil 4.25.	Dinamik dağılımı yapılan 20 adet AP cihazının alandaki konumları ve kapsanmayan binalar: 1-Kredi Yurtları (kısmen), 2- Prefabrik Personel Konutları, 3- Rektörlük Binası, 4- Yeşil Alan Müdürlüğü, 5- Öğrenci Kantini (Veteriner Fakültesi).....	94
Şekil 4.26.	Rastgele dağıtımı yapılan 25 adet AP cihazının alandaki konumları.....	95
Şekil 4.27.	Dinamik dağılımı yapılan 25 adet AP cihazının alandaki konumları.....	96

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1.	ISM uygulamaları için geçerli frekans bandları.....	13
Çizelge 4.1.	Uygulamalardaki senaryolar için çalıştırılan iterasyonlar boyunca ulaşılan <i>OptMSN</i> ve ortalama çalışma zamanı sonuçları .....	57
Çizelge 4.2.	Uygulamalardaki senaryolar için çalıştırılan iterasyonlar boyunca elde edilen ortalama kapsanma oranları .....	58
Çizelge 4.3.	Her senaryodaki tanımlı olan uzaklık ve <i>OptNSN</i> parametrelerine göre, çalıştırılan 100 iterasyon için elde edilen uygulama sonuçları .....	60
Çizelge 4.4.	<i>OptNSN</i> ve <i>OptMSN</i> parametresi esas alınarak çalıştırılan uygulamalarda ulaşılan iterasyon sayısının alanın kapsanma oranına olan etkisi .....	61
Çizelge 4.5.	Her biri bağımsız olan uygulamalar ile alandaki tüm algılayıcıların toplam hareket mesafeleri .....	62
Çizelge 4.6.	Dinamik dağıtım sonrası <i>k</i> -kapsama derecesine göre çakışan alanda kapsanan Grid noktası sayısı ve çakışan toplam düğüm sayısı.....	64
Çizelge 4.7.	Tanımlanan iterasyonlara göre algoritmaların dinamik dağıtım sonucunda ilgili alanın kapsanma oranları .....	66
Çizelge 4.8.	<i>k</i> -kapsama derecesine göre çakışan alandaki Grid noktalarının TO değeri ....	74
Çizelge 4.9.	İterasyon sayısına göre alandaki <i>OptMSN</i> ve <i>OptSSN</i> uygulama sonuçları .	75
Çizelge 4.10.	<i>OptNSN</i> ve iterasyon sayısına göre alanın ortalama kapsama oranlarının uygulama sonuçları .....	77
Çizelge 4.11.	<i>OptNSN</i> parametresi esas alınarak elde edilen optimum algılayıcı sayılarına göre alanın hesaplanan kapsanma oranları .....	78
Çizelge 4.12.	<i>OptNSN</i> parametresi esas alınan uygulamada iterasyon sayısının optimum algılayıcı sayısına ve alanın kapsanma oranına etkisi.....	79
Çizelge 4.13.	Her biri bağımsız olan uygulamalar ile alandaki 20 mobil algılayıcının toplam hareket mesafeleri .....	80
Çizelge 4.14.	Dinamik dağıtım sonrası tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların <i>k</i> -kapsama derecesi .....	82
Çizelge 4.15.	Algoritmaların kapsanma oranlarının karşılaştırılması.....	84
Çizelge 4.16.	AP'lerin dinamik dağıtımlarının uygulama sonuçları.....	97

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$r, R$	Algılayıcı tarama yarıçapı
$r_e$	Algılayıcının belirsiz tarama yarıçapı
$com\_r$	Algılayıcıların haberleşme aralığı
$A$	Kapsama alanının toplam boyutu
$N_{mobil}$	Mobil algılayıcıların veya popülasyonun sayısı
$N_{statik}$	Statik algılayıcıların sayısı
$n_u$	Çözüm uzayının boyutu
$u_k, l_k$	Çözüm uzayının üst ve alt sınır koordinatları
$N_{max-iter}$	Maksimum iterasyon sayısı
$N_{max-sim}$	Maksimum uygulama sayısı
$f(x^i)$	$i$ 'nci parçacığın uygunluk (amaç) fonksiyonu
$f(x^{best})$	Optimum parçacığın uygunluk fonksiyonu
$q^i$	$i$ 'nci parçacığın yükü
$N_{par}$	Çözüm uzayındaki parçacık sayısı
$x_k^i$	$i$ 'nci parçacığın $k$ 'nci boyutunun koordinatı
$F^i$	$i$ 'nci parçacığın bileşke kuvveti
$x^i, y^i$	$i$ parçacığın çözüm uzayındaki $(x, y)$ koordinatları
$\lambda_{rast}$	Rastgele adım uzaunluğu
$\lambda, \beta$	Olasılıksal ölçüm parametreleri
$c_{th}$	Kapsama oranı eşik değeri
$d_{th}$	Eşik mesafesi
$cs$	Koloni boyutu (colony size)
$l$	Keşif için sınır parametresi
$s^i, s^j$	Alandaki $i$ ve $j$ algılayıcıları
$dp_{xy}(s^i)$	$i$ 'nci algılayıcı tarafından $(x, y)$ koordinatının taranma olasılığı
$cs_{xy}(s^i)$	$i$ 'nci algılayıcı tarafından $(x, y)$ koordinatındaki Grid noktasının etkin kapsanma durumu
$S_{ovl}$	Çakışma oluşturan algılayıcılar kümesi
$S_{non\_ovl}$	Çakışma oluşturmeyen algılayıcılar kümesi
$TO_{xy}(S_{ovl})$	Çakışan algılayıcılar tarafından $(x, y)$ koordinatındaki Grid noktasının taranma olasılığı
$TO_{xy}(S_{non\_ovl})$	Çakışmayan algılayıcılar tarafından $(x, y)$ koordinatındaki Grid noktasının taranma olasılığı

$c_i$	$i$ 'nci algılayıcının kapsama alanı
$\cup c_i$	Kapsama alanlarının birleşimi
$S$	Tüm algılayıcılar kümesi
$d(s^i, s^j)$	$i$ ve $j$ algılayıcıları arasındaki Öklid mesafesi
$d(s^i, P)$	$i$ algılayıcısı ile $P$ Grid noktası arasındaki Öklid mesafesi
$d_{ort}$	$i$ ve $j$ algılayıcıları arasındaki ortalama Öklid mesafesi
ABC	Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)
ACO	Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Optimization)
AP	Erişim Noktası (Access Point)
BFS	Enine Öncelikli Arama (Breadth First Search)
CR	Kapsama oranı (Coverage Rate)
DT-Skor	Delaunay Üçgenlemesi-Skor (Delaunay Triangulation–Score)
ECGH	Enerji Verimli Merkezleştirilmiş Greedy ve Sezgisel Algoritma (Energy-efficient Centralized Greedy and Heuristic algorithm)
EDLGH	Enerji Verimli Dağıtık ve Yerelleştirilmiş Greedy Sezgisel Algoritma (Energy-Efficient Distributed and Localized Greedy Heuristic Algorithm)
EM	Elektromagnetizma – Benzer Algoritması (Elektromagnetism-Like Algorithm)
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
GHz	Giga Hertz
ISM	Endüstri, Bilimsel ve Tıbbi (Industrial, Scientific, and Medical)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
KAAs	Kablosuz Algılayıcı Ağ
MCD	Maksimum Yakınsama Mesafesi (Maximum Convergence Distance)
$M_xBP$	Maksimum Sızma Yolu (Maximal Breach Path)
$M_nEP$	Minimum Pozlama Yolu (Minimal Exposure Path)
$M_xEP$	Maksimum Pozlama Yolu (Maximal Exposure Path)
$M_xSP$	Maksimum Destek Yolu (Maximal Support Path)
MHz	Mega Hertz
NOptNSN	Optimum Olmayan Komşu Algılayıcı Sayısı (Non-Optimal Neighbour Sensor Number)
OptLBD	Optimum Alt Sınır Mesafesi (Optimal Lower Bound Distance)
OptMS	Optimum Mobil Algılayıcılar (Optimal Mobil Sensors)
OptMSN	Optimum Mobil Algılayıcı Sayısı (Optimal Mobil Sensor Number)

OptNSN	Optimum Komşu Algılayıcı Sayısı (Optimal Neighbour Sensor Number)
OptSSN	Optimum Statik Algılayıcı Sayısı (Optimal Stationary Sensor Number)
OptUBD	Optimum Üst Sınır Mesafesi (Optimal Upper Bound Distance)
OSDA-EM	EM tabanlı Optimum Algılayıcı Tarama Algoritması (Optimal Sensor Detection Algorithm by EM)
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
PPSO	Paralel Parçacık Sürü Optimizasyonu (Paralel Particle Swarm Optimization)
QoS	Hizmet Kalitesi (Quality of Service)
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
TCP	Hedef Kapsama Problemi (Target Coverage Problem)
TKO <sub>ikili</sub>	İkili Tarama Modeli ile hesaplanan ilgili alanın Toplam Kapsanma Oranı
TKO <sub>olasılık</sub>	Olasılıksal Tarama Modeli ile hesaplanan ilgili alanın Toplam Kapsanma Oranı
TO	Taranma Olasılığı (Detection Probability)
UHF	Çok Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
VEC	Vektör Tabanlı Algoritma (Vector-Based Algorithm)
VF	Sanal Kuvvet (Virtual Force)
VFCPSO	Sanal Kuvvet ve Ortak-Evrimsel Parçacık Sürü Optimizasyonu (Virtual Force and Co-evolutionary Particle Swarm Optimization)
VOR	Voronoi Tabanlı Algoritma (Voronoi-Based Algorithm)
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks)
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless-Fidelity)

## 1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim ve Sayısal Elektronik'teki yenilikler düşük maliyetli ve düşük güçle çalışan çok fonksiyonelli ve küçük boyutlu algılayıcı düğümlerin gelişimini mümkün kılmıştır. Algılama ve veri işleme işlevlerini gerçekleştiren bu küçük algılayıcılar fazla sayıdaki düğümlerin işbirliğine dayanan çalışmalarını esas alarak algılayıcı ağların temelini oluşturur. Algılayıcı ağlar geleneksel olarak kullanılan algılayıcılardan farklı olarak belirgin bir gelişmeyi temsil eder ve algılayıcı ağlar çok sayıdaki algılayıcı düğümlerinden oluşur [1].

Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'lar farklı ortamlardaki sıcaklık, nem, ışık, ses, basınç, kirlilik, gürültü seviyesi, titreşim, nesne hareketleri gibi fiziksel ya da çevresel koşulları kooperatif bir şekilde izlemek için kapsama alanı içerisinde birbirinden bağımsız olarak çalışan algılayıcıları kullanmaktadır [2]. KAA'lar kablosuz bir ortam aracılığıyla birbirine bağlanmış ve birbiriyle bilgi alış verişi yapan yüzlerce hatta binlerce algılayıcı düğümünden oluşur. Artık günümüzde KAA'lar çoğu uygulamada kullanıldığından dolayı bu ağlar ile ilgili sorunlar daha da belirgin olmaya başlamıştır. KAA'ların optimum olmayan dinamik dağıtımını ağın kapsama sorunlarına neden olur. Bu sebeple algılayıcıların alan içerisindeki konumları etkin bir kapsama alanı oluşturabilmeleri açısından çok önemlidir. Optimum bir kapsama alanının elde edilebilmesi algılayıcıların alan içerisindeki dinamik dağıtımlarının en etkin bir şekilde yapılması ile mümkün olur.

Algılayıcıların dinamik dağıtımlarının yapılabilmesi için öncelikle algılayıcı düğümlerin alan içerisindeki başlangıç konumları rastgele olarak belirlenir. Hedef alandaki algılayıcıların başlangıçtaki konumlarının rastgele olarak yerleşimi istenilen bir durumdur. Fakat rastgele dağıtım her zaman etkin bir kapsama alanı sağlamaz. Çünkü algılayıcılar hedef alandaki belirli bir noktanın çevresinde aşırı miktarda kümelenebilir ya da alandaki belirli bir noktanın çevresinde algılayıcı yoğunluğu çok düşük olabilir. Optimum bir kapsama alanı oluşturabilmenin diğer bir şartı; algılayıcı alanda hem mobil hem de statik algılayıcı düğümler kullanabilmektir. Eğer algılayıcılar mobil ise, başlangıçtaki rastgele dağıtım sonrasında diğer algılayıcıların konum bilgisini kullanarak kendi konumlarını değiştirebilme yeteneğine sahip olurlar. Diğer yandan bu algılayıcılar eğer statik ise, başlangıçtaki rastgele dağıtım sonrasında kendi konumlarını değiştiremezler.



Kablosuz ağlarda algılayıcılar kendi tarama aralığı içindeki alan hakkında mevcut olan bilgiyi toplayabilmektedirler. Algılayıcılar bu bilgiyi bir merkezi (baz) istasyonunun yanı sıra kendisine komşu olan algılayıcılar ile de paylaşabilirler. Bu nedenle ilgili ağdaki algılayıcıların etkin bir tarama yapabilmesi için kapsama alanlarının genişletilmesi gerekir. Algılayıcıların kapsama oranını artırmak amacıyla mobil algılayıcıların konum değişikliği yapabilme yeteneklerinden faydalanılır.

Algılayıcılar başlangıçta alan içinde rastgele olarak dağıtıldıkları için genellikle etkin bir kapsama alanı elde edilemez. Bu problemi çözmek için araştırmacılar [3-7] tarafından çeşitli dinamik dağıtım algoritmaları çalışılmıştır. Ağın kapsama alanı oranını iyileştirmeye yönelik olarak Zou ve Chakrabarty [8] tarafından üzerinde çalışılan algılayıcı dağıtım stratejilerinden bir tanesi Sanal Kuvvet (Virtual Force–VF) algoritmasıdır. Bu algoritma algılayıcıların kapsama alanını maksimum yapmaya çalışır ve algılayıcı alanı kümelere ayırıp her bir kümenin küme başı algılayıcıları arasında iki adımlı haberleşme protokolünü temel alarak algılayıcıları yeni bir hedefe konumlanmasını gerçekleştirir. Ayrıca Yu et al. [9] orijinal VF algoritmasını geliştirerek yeni bir dinamik dağıtım algoritması önermişlerdir.

Qi et al. [10] Blackboard mekanizma tabanlı Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Optimization–ACO)’nı temel alarak geliştirdikleri bir yaklaşımı mobil algılayıcıların dinamik dağıtım problemine uygulayarak yol planlamasında optimizasyon şemasının bulunmasını sağlamışlardır. Mobil KAA’nın dinamik dağıtımları ve yol planlaması karmaşık ve sistemin işleyişi için de temel teknoloji olduğu için; Wu et al. [11] algılayıcı alanın kapsamasını maksimum yapmak amacıyla ACO tabanlı Delaunay Üçgenleme-Skor (Delaunay Triangulation-Score – DT-Skor) stratejisini kullanmışlardır.

Li ve Lei [12] mobil ve statik algılayıcılarından oluşan KAA’lardaki dağıtım problemine yönelik olarak geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization – PSO)’nun bir metodunu önermişlerdir. Wang et al. [13] etkin kapsama alanı oluşturmak için hem mobil hem de statik algılayıcıları kullanarak Paralel Parçacık Sürü Optimizasyonuna (PPSO) dayalı bir dağıtım stratejisi önermişlerdir. Komşu düğümler arasındaki mesafeyi minimum yaparaktan ağın kapsama alanını maksimum yapmayı amaçlayan Kukunuru et al. [14] KAA’lar için sadece mobil algılayıcıları içeren PSO tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Gopakumar ve Jacob [15]

KAA ortamında düğümlerin konumlanması için PSO tabanlı yeni bir etkin optimizasyon metodu önermişlerdir. Ayrıca algılayıcı düğümlerin optimum konumlanması amacıyla mikro kontroller ile gerçekleştirilebilen ve Low et al. [16] tarafından geliştirilen PSO tabanlı dinamik dağıtım algoritması gerçek zaman uygulamaları için önerilmiştir.

Wang et al. [17] dinamik dağıtım optimizasyonunun performansını geliştirmek için ortak evrimsel (co-evolutionary) PSO (CPSO) ile VF algoritmasının birleşiminden oluşan VFCPSO ismi ile adlandırılan geliştirilmiş bir algoritma önermişlerdir. VFCPSO algoritması hem mobil hem de statik algılayıcı ağlara uygulanmıştır. Ahmed et al. [18] mobil algılayıcıların deterministik olmayan dağıtımıyla sağlanan mevcut kapsama problemini ele almışlar ve sonrasında mobil algılayıcıları kullanarak kapsama alanını artırmışlardır. Wang et al. [19] Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasını kullanarak ağın kapsama alanını artırmayı denemişlerdir. İlgili ağın daha iyi bir şekilde kapsanması amacıyla bu algoritmayı mobil ve statik algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulamışlardır.

Araştırmacılar Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony–ABC) algoritmasını temel alarak KAA’ların dinamik dağıtımını gerçekleştirmişlerdir. Öztürk et al. [20] KAA’lardaki dinamik dağıtım problemine yönelik İkili (binary) Tarama Modelini kullanarak yeni bir yaklaşım önermişlerdir. ABC algoritmasını temel alan bu yaklaşım 2-boyutlu uzayda mobil algılayıcıların ağ içinde daha iyi bir kapsama alanı sağlamasına yöneliktir. Bir diğer çalışmalarında [21] ise, hem mobil hem de statik algılayıcıları kullanarak Olasılıksal (probablistic) Tarama Modelini KAA’nın dinamik dağıtımına uygulamışlardır. Yu et al. [22] orijinal ABC algoritmasını güncelleyerek yeni bir dağıtım algoritması önermişlerdir. FNF-BL-ABC isimli bu algoritma ile yakınsama oranının maksimize edilmesi için bazı yeni parametreler sunulmuştur.

### **1.1. Tezin Güncelliği**

Günümüzde KAA’lar hayatımızın birçok aşamasında kullanıldığı için KAA’ların optimize edilmesi ağın başarımını etkileyeceğinden dolayı birçok araştırmacı tarafından KAA’lardaki dinamik dağıtım probleminin çözümüne yönelik olarak meta-sezgisel algoritmalar temel alınıp yeni dağıtım modelleri sunulmuştur. Yapılan bu çalışmalar ışığında; algılayıcıların dinamik dağıtımlarının optimum olarak

yapılabilmesi, ağın kapsanma oranının etkin bir şekilde belirlenmesinde önemli rol oynadığı gözükmektedir. Bu sebeple meta-sezgisel bir algoritmayı temel alarak sunulan bu tez çalışmasının KAA'ların performansının belirlenmesinde önemli oranda katkı sağlayacağı düşünölmüştür.

## 1.2. Tezin Amacı

Tezde, ortamdaki algılayıcılar tarafından enerji tasarrufu sağlayarak ağın kapsanma oranının artırılması için geliştirilen EM tabanlı meta-sezgisel algoritma ile algılayıcıların ilgili alandaki dinamik dağıtımlarının optimize edilmesi ve tasarlanan modelin diğer algoritmalar ile karşılaştırılması için MATLAB ortamında uygulama yapılması amaçlanmıştır.

## 1.3. Amaca Ulaşmak için Tezde Çözömlenen Problemler

- Sadece mobil algılayıcıların dinamik dağıtımını için İkili Tarama Modelinin alandaki algılayıcılara uygulanması,
- Hem mobil hem de statik algılayıcıların dinamik dağıtımını için Olasılıksal Tarama Modelinin alandaki algılayıcılara uygulanması,
- Mobil algılayıcıların enerji tüketimlerinin optimum seviyede sağlanabilmesi,
- Geliştirilen OSDA-EM'de tanımlanan uzaklık parametrelerinin optimum olarak belirlenebilmesi,
- Olasılıksal Tarama Modelinde optimum kapsama oranına ulaşmak için ölçüm parametrelerinin belirlenmesi,
- Geliştirilen OSDA-EM ile KAA'ların enerji tüketimlerinin iyileştirilebilmesi için algılayıcıların  $k$ -kapsama derecelerinin optimize edilmesi.

## 1.4. Tezin Pratik Önemi

Literatürde çalışılan algılayıcı tarama modelleri [19-22] için bu tez çalışmasında geliştirilen OSDA-EM ile algılayıcıların optimum dinamik dağıtımlarının yapılabildiğini tespit etmek amacıyla, hem mobil hem de statik algılayıcılar ile ilgili algılayıcı alanın MATLAB ortamındaki uygulaması gerçekleştirilmiştir.

## 1.5. Tezde Yapılan Çalışmalar

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma beş bölümden oluşmuştur. Bölümlerin özeti aşağıdaki gibidir.

1. Bölümde bu tezin konusu ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar vurgulanmıştır.

2. Bölümde KAA'ların uygulama alanları belirtilerek KAA'nın tasarımını etkileyen faktörler açıklanmıştır. Ayrıca KAA'ların hizmet kalitesini belirleyen ölçütler belirtilmiştir. KAA'ların kapsama problemlerinin sınıflandırılması ayrıntılı olarak açıklanarak, bu tez çalışmasının asıl amacını vurgulayan ve ilgili alanın optimum olarak kapsanabilmesini sağlamak amacıyla yeni bir dinamik dağıtım metodu olarak önerilen algılayıcı dağıtım stratejisinin temelini oluşturan EM algoritması ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3. Bölümde mobil algılayıcılar için yeni bir dinamik dağıtım yöntemi önerilmiştir. Önerilen bu yöntem ile hem algılayıcıların ilgili alanda dinamik dağıtımlarının İkili ve Olasılıksal Tarama Modellerine göre yapılması için uygulanacak olan Algoritmalar tanımlanmış, hem de ilgili alanın kapsama oranının hesaplanmasında literatürden farklı olarak yeni bir strateji benimsenmiştir.

4. Bölümde bu tez çalışmasında önerilen yeni bir dinamik dağıtım yöntemi ile hem İkili hem de Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak algılayıcıların optimum dağılımlarının yapılabilmesi için tanımlanacak olan uzaklık parametrelerinin belirlenmesinde *Örnek Çalışmalar* esas alınarak MATLAB ortamında uygulamalar yapılmıştır. Örnek Çalışmalarda tespit edilen ve optimum sonuç veren *Senaryo* kullanılarak her iki tarama modelinin MATLAB ortamındaki uygulaması yapılmıştır. Önerilen yeni yöntem ile orijinal ABC ve PSO algoritmalarının karşılaştırılması yapılarak geliştirilen metodun algılayıcıların dinamik dağılımında uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca yeni yöntemin gerçek bir ortamda uygulaması yapılarak etkinliği ölçülmüştür.

5. Bölümde bu tez çalışmasından elde edilen sonuç ve öneriler yer almaktadır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. KAA'ların Uygulama Alanlar**

Algılayıcı ağlar geniş bir ölçekte sıcaklık, nem, basınç, gürültü seviyesi, araç hareketi gibi çevresel koşulları izleyebilmek için sismik, termal, kızılötesi, akustik ve radar gibi çok farklı algılayıcı tiplerinden oluşabilir. Algılayıcı düğümler sürekli algılama, konum algılama ve olay tespiti için kullanılabilir. Bu düğümlerin kablosuz olarak bağlantısı ve mikro algılama kavramı çoğu yeni uygulama alanları için temel oluşturur. Algılayıcı ağlar askeri, çevresel, sağlık, ev ve ticari uygulamalar içinde kategorize edilebilir [2].

#### **2.1.1. Askeri uygulamalar**

KAA'lar askeri komut, kontrol, iletişim, hesaplama, istihbarat, gözetleme, keşif ve hedef sistemlerin ayrılmaz bir parçası olabilir. Algılayıcı ağların hızlı dağılımı, kendi kendine organizasyonu ve hata toleransı karakteristikleri KAA'ları askeri uygulamalar için çok önemli bir teknik yapmaktadır. Algılayıcı ağlar düşük maliyetli ve yoğun dağılımlı algılayıcı düğümleri temel aldığı için askeri bir operasyonda düşman harekâtı tarafından bazı düğümlerin imha edilmesi geleneksel algılayıcıların imhası kadar çok etkilemez. Aynı zamanda KAA'lardaki bazı askeri uygulamalar dost kuvvetlerin teçhizat ve mühimmatını gözlemlemek içinde kullanılmaktadır [2].

#### **2.1.2. Çevresel uygulamalar**

Algılayıcı ağların bazı çevresel uygulamaları; kuş, küçük hayvanlar ve böcek hareketlerinin takibini, bitki, hayvancılık ve sulamayı, hassas tarımı etkileyen çevresel koşulların izlenmesini, deniz, toprak ve atmosferik ortamların izlenmesini, orman yangını tespitini, meteorolojik ve coğrafik araştırmaları ve sel tespitini içermektedir [23-27].

#### **2.1.3. Sağlık uygulamaları**

Algılayıcı ağlar için bazı sağlık uygulamaları engelliler için arabirim sağlamaktadır. Entegre hasta izleme, tanılama, hastanelerde ilaç yönetimi, hastane içindeki doktorların takibi ve izlenmesi gibi uygulamalarda algılayıcı ağlar kullanılmaktadır [28].

#### **2.1.4. Ev uygulamaları**

Teknoloji ilerledikçe akıllı algılayıcı düğümler mikrodalga fırınları, buzdolapları gibi cihazların içinde gömülü olabilmektedirler. Cihazlara gömülü olan bu algılayıcı düğümler birbirleriyle ve internet veya uydu üzerinden harici ağ ile etkileşime girebilirler. Aynı zamanda bu uygulamalar yerel ve uzaktan ev cihazlarını yönetmek için kullanıcılara imkân da sağlar. Akıllı ortamın tasarımı insan merkezli ve teknoloji merkezli olmak üzere iki farklı bakış açısına sahip olabilir [29]. İnsan merkezli için akıllı bir ortam; girdi/çıkış yetenekleri açısından son kullanıcının gereksinimlerine uyumlu olmak zorundadır. Teknoloji merkezli için yeni donanım teknolojileri, ağ çözümleri ve ara katman servisleri geliştirilmesi zorunludur. Algılayıcı düğümler mobilyaların ve ev aletlerin içerisine de gömülebilirler.

#### **2.1.5. Ticari uygulamalar**

Bazı ticari uygulamalar; stok yönetimi, ürün kalitesinin izlenmesi, akıllı ofis alanlarının inşası, ofis yapılarında ortam kontrolü, otomatik üretim ortamlarında robot kontrolü, interaktif oyuncaklar, interaktif müzeler, fabrika süreç kontrolü, afet bölgesinin izlenmesi, içerisine gömülü olan algılayıcı düğümlerden inşa edilen akıllı yapılar, makine aletleri, ulaşım, araç hırsızlığının tespiti ve izlenmesi, araç takibi ve bunların izlenmesi olarak sayılabilir [23,30,31].

### **2.2. KAA'ların Tasarımını Etkileyen Faktörler**

KAA'ların tasarımı; kablosuz iletişim, ağ oluşturma, gömülü sistemler, sayısal sinyal işleme ve yazılım mühendisliğinin içerdiği geniş kapsamlı araştırma alanlarının bilgisini gerektirmektedir. KAA'nın tasarımını önemli ölçüde etkileyen birkaç faktör mevcuttur. Bunlar; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, algılayıcı ağ topolojisi, donanım kısıtları, iletim ortamı, enerji tüketimidir. Bu faktörler KAA'ların dağıtımını ve tasarımı ile ilgili geniş alanlarda çoğu araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Fakat bu faktörler için çözümlerin etkileşimi araştırma alanının disiplinler arası doğasından dolayı hala önemli bir sorundur [32].

### **2.2.1. Hata toleransı**

Enerjilerinin yetersizliğinden dolayı aralarındaki iletişimde aksamalara neden olan bazı algılayıcı düğümler çevresel parazitlenmeye veya fiziksel hasara maruz kalarak iletişimde başarısız olabilirler. Algılayıcı düğümlerin bu hatası algılayıcı ağın bütün görevlerini etkilememesi gerekir. Hata toleransı, algılayıcı düğüm başarısızlığından dolayı herhangi bir kesinti olmaksızın algılayıcı ağın işlevlerinin sürdürebilme yeteneğidir [33-34]. Bir düğümün donanım ve yazılım bileşenleri başarısızlık oranını etkiler. Algılayıcı düğümler düşük maliyetli aygıtlara gömülü olduğundan, hataların çoğunluğu bu aygıtların donanım sorunları tarafından kaynaklanır. Ayrıca sınırlı bellek ve işlem kapasitesinden dolayı düğümdeki yazılım kesintiye uğrayabilir. İç sorunlara ek olarak, algılayıcı düğümlerin dağıtım ortamı bir algılayıcının nasıl çalıştığını etkileyebilir. Eğer algılayıcı düğümler iç ortamda dağıtılmış ise, ortamda daha az parazit oluşur ve düğümlerin başarısızlık oranında artış olmayabilir. Diğer yandan algılayıcı düğümler dış ortamda dağıtılmış ise, ortamın parazitinden dolayı algılayıcı düğüm başarısızlığı oluşabilir [32].

Protokoller ve algoritmalar algılayıcı ağlar tarafından gereken hata tolerans düzeyine yönelik olarak tasarlanmaktadır. Eğer algılayıcı düğümlerin dağılımlarının yapıldığı ortamda düşük parazit mevcut ise, bu protokoller algılayıcı ağlar ile uyumlu olduğu söylenebilir. Örneğin; eğer algılayıcı düğümler nem ve sıcaklık seviyelerini takip etmek için bir evde dağıtılmış ise, bu tür algılayıcı ağlar çevresel gürültü ile etkilenmediği veya kolay bir şekilde hasar görmediği için hata toleransı gereksinimi düşük olabilir. Diğer yandan eğer algılayıcı düğümler bir savaş alanında gözetleme ve tarama amacıyla dağıtılmış ise, algılanan veri kritik olduğundan ve algılayıcı düğümler düşman saldırıları tarafından yok edilebildiğinden dolayı hata toleransı yüksek olmak zorundadır. Dolayısıyla hata tolerans düzeyi algılayıcı ağların uygulamalarına bağlıdır ve geliştirilmesi gerekir [2].

### **2.2.2. Ölçeklenebilirlik**

Algılayıcı alanda dağıtılan algılayıcı düğümlerin sayısı yüzlerce hatta binlerce olabilir. Uygulamaya bağlı olarak bu düğümler milyonlarca aşırı miktarda sayıya ulaşabilir. Yeni teknolojiler ile birlikte uygulamaya bağlı olarak alandaki yüksek yoğunluklu algılayıcı düğümlerden faydalanılmaktadır. Yarıçapı 10 metreden daha

küçük olabilen belirli bir alanda bu yoğunluk birkaç algılayıcı düğümden birkaç yüz algılayıcı düğüme kadar değişebilir [35].

Belirli bir alandaki düğümlerin sayısı düğümlerin yoğunluğunu göstermek için kullanılabilir. Düğüm yoğunluğu algılayıcı düğümlerin dağıtıldığı uygulamaya bağlıdır. Örneğin; makine tanısı uygulamalarında düğüm yoğunluğu  $25 m^2$  bir alanda 300 algılayıcı civarında, araç takip uygulamaları için bu yoğunluk  $m^2$  başına 10 algılayıcı düğüm civarındadır [36]. Bir evde algılayıcı düğümleri içeren yaklaşık iki düzine elektronik cihazlar olabilir [37]. Eğer algılayıcı düğümler mobilya veya diğer parçaların içine gömülür ise, bu sayı artacaktır. Yaşam alanı görüntüleme uygulamalarında algılayıcı düğümlerin sayısı  $m^2$  başına 25'den 100'e kadar olan aralıkta değişebilir [25].

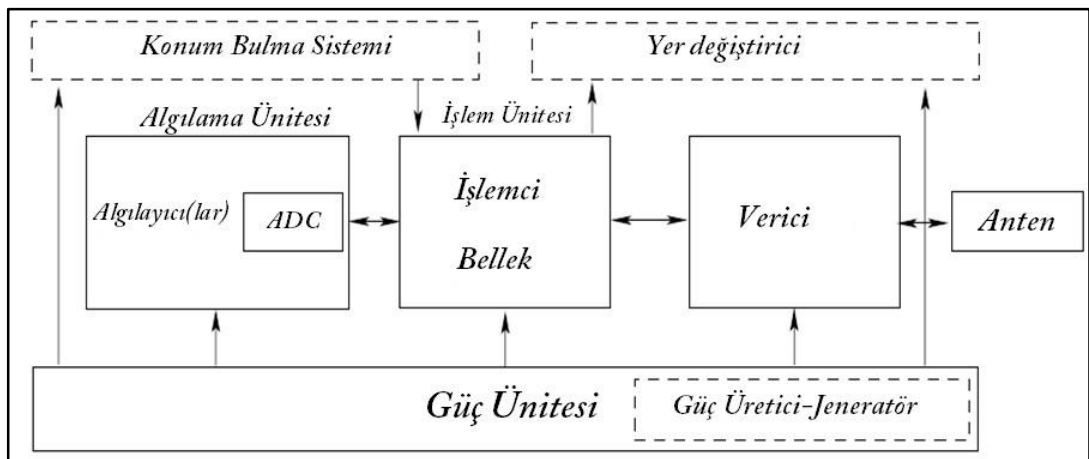
### 2.2.3. Donanım kısıtlamaları

Bir kablosuz algılayıcı aygıt dört temel bileşenden oluşur. Bunlar; algılama ünitesi, işlem ünitesi, verici ve güç ünitesidir. Aynı zamanda konum bulma sistemi, güç üretici (jeneratör) ve harekete geçirici olan ek bileşenler uygulamaya bağlı olarak algılayıcı düğüme eklenebilir [32].

- **Algılama ünitesi:** Bu ünite iletişim yetenekleri ile diğer gömülü sistemlerden ayrılan bir kablosuz algılayıcı düğümün ana bileşenidir. Genellikle bilgi toplama yetenekleri sağlayan birkaç algılayıcı ünitesi içerebilir. Her algılayıcı ünitesi sıcaklık, nem ve ışık gibi belirli tipteki bilgileri toplamaktan sorumludur. Ayrıca algılayıcı ve analog – sayısal dönüştürücüden oluşan iki alt ünitesi mevcuttur.
- **İşlem ünitesi:** Bu ünite her bir bileşenin yönetildiği kablosuz algılayıcı düğümün ana kontrolörüdür. Kablosuz iletişim sayesinde diğer düğümler ile işbirliği yapmak, ilişkili algoritmaları çalıştırmak ve algılama işlemlerini gerçekleştirmek için algılayıcı düğümü etkin kılan yordamları yönetir.
- **Verici ünitesi:** Herhangi iki kablosuz algılayıcı düğümler arasındaki iletişim verici ünitesi tarafından gerçekleştirilir. Bir verici ünitesi radyo frekans (Radio Frequency-RF) dalgaları içerisinde iletilecek olan bitleri dönüştürmek için gerekli yordamları uygular. Esasen KAA bu ünite sayesinde ağa bağlıdır.



- **Güç ünitesi:** Kablosuz algılayıcı düğümün en önemli bileşenlerinden birisidir. Genellikle batarya gücü kullanılmıştır. Fakat diğer enerji kaynaklarının kullanılması da mümkündür. Kablosuz algılayıcı düğümdeki her bileşene güç ünitesi sayesinde enerji sağlanmaktadır. Bu ünitenin sınırlı enerji kapasitesi her bileşen tarafından yürütülen görevler için enerji verimli çalışmasını gerektirir.
- **Konum bulma sistemi:** Algılama görevleri, yönlendirme teknikleri ve algılayıcı ağ uygulamalarının çoğu bir düğümün fiziksel konumunun bilgisini gerektirir. Böylece konum bulma sistemi ile bir düğümün donatılması gerekir. Bu sistem üst uçtaki bir algılayıcı düğüm için bir Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS) içerebilir veya dağıttık hesaplamalar sayesinde konum bilgisini sağlayarak lokalizasyon algoritmalarını uygulayan bir yazılım modülü olabilir.
- **Yer değiştirici:** Bu ünite verilen görevleri gerçekleştirmek için gerekli olduğunda algılayıcı düğümleri hareket ettirmek için bazen gerekli olabilir. Mobilite desteği büyük enerji kaynağı gerektirir ve etkin olarak sağlanmalıdır. Aynı zamanda bu ünite algılayıcı düğümün hareketlerini kontrol etmek için işlemci ve algılama ünitesi ile yakın etkileşim içinde çalışabilir.
- **Enerji üretici:** Algılayıcı düğümlerde çoğunlukla batarya gücü kullanılırken, daha uzun ağ yaşam süresinin temel alındığı uygulamalar için ek jeneratör kullanılabilir.



Şekil 2.1. Bir algılayıcı düğümün donanım yapısı

#### 2.2.4. Üretim maliyeti

Algılayıcı ağlar fazla sayıda algılayıcı düğümleri içerdiği için tek bir düğümün maliyeti ağın bütün maliyetini göstermek açısından çok önemlidir. Eğer algılayıcı ağın maliyeti geleneksel olarak dağıtılan algılayıcılardan çok pahalı ise, bu algılayıcı ağ maliyet açısından istenen durumda olmayacaktır. Dolayısıyla her algılayıcı düğümün maliyeti düşük tutulmak zorundadır. Örneğin; geleneksel düğümlerin kullanıldığı ve düşük maliyetli aygıt olarak bilinen Bluetooth Radyo'nun maliyeti bir algılayıcı düğüm için hedeflenen fiyattan 10 kez daha pahalıdır. Çünkü bir algılayıcı düğüm işlem ve algılama ünitesi gibi ek ünitelere ve algılayıcı ağ uygulamalarına bağlı olarak güç üretici, yer değiştirici, konum bulma sistemi ile donatılmış olacağından dolayı bu ünitelerin hepsi algılayıcı aygıtların maliyetine eklenir.

#### 2.2.5. KAA topolojisi

Sık sık hatalara eğilimli olan fazla sayıdaki erişilmeyen algılayıcı düğümler teknik olarak zorlu bir görevin topolojisini oluşturur. Ortamdaki ilgili olayın etkin bir şekilde takip edilebilir olması nedeniyle algılayıcı düğümlerin dağıtımı büyük bir zorluktur. Bu zorluk dağıtım öncesi ve dağıtım evresini oluşturur. Ayrıca protokol parametreleri ve işlemlerin ağ topolojisine göre belirlendiği dağıtım sonrası evre olan ilk dağıtım sonrası da topoloji bakımı için önemlidir. Eğer ortamdaki bazı düğümler başarısız olur ise, veya ağın yaşam süresini artırmak için kendi enerjilerini tüketirler ise, dağıtım sonrası evre gerekli olabilir. Genel olarak ortamda yoğun bir şekilde fazla sayıda düğümün dağıtılması topoloji bakımının dikkatli ele alınmasını gerektirir [32].

- **Dağıtım öncesi ve dağıtım evresi:** Algılayıcı düğümler ilgili ortamda ya tek tek yerleştirilmeli ya da topluca atılarak yerleştirilmelidir. Algılayıcılar uçaktan atılarak, bir fabrikaya yerleştirilerek, insan veya robot tarafından teker teker yerleştirilerek dağıtılabılır. Buna rağmen algılayıcı sayılarının çokluğu ve bunların gözetilmeden dağıtımının yapılması dikkatli olarak mühendislik planına göre yerleşimlerinin yapılmasını genellikle engeller. İlk dağıtım için yapılan planlamalar; kurulum maliyetini azaltmalı, hata toleransı ve kendi kendine organizasyonu desteklemelidir [32].

- **Dağıtım sonrası evre:** Dağıtım evresi sonrasında algılayıcı koşullarındaki değişikliklerden dolayı topoloji değişiklik gösterebilir [1,38]. Mobil olan KAA'larda

algılayıcıların hareketleri ağın topolojisini etkiler. Bu duruma göre, uzun bir süre için topolojide önemli değişiklikler meydana gelebilir. Ayrıca ortamdaki parazitlik, gürültü veya hareketli engellerden dolayı düğümlerin bağlantısı değişebilir. Aynı zamanda bu faktörler kısa bir süre için ağın topolojisini de etkiler. Dağıtım sonrasında topoloji değişikliklerinin bir diğer nedeni kalıcı değişikliklerle sonuçlanan düğüm başarısızlığıdır. Sonuç olarak; bazı düğümler belirli bir zaman için kapsam dışı kaldığında ağın topolojisi uygulama ve algılama görevlerine göre periyodik olarak değişebilir. Bu değişiklikler ağın ilk dağıtımından farklı işlemler ile sonuçlanır. Ağ protokolleri topolojideki kısa süreli, uzun süreli ve periyodik değişikliklere adapte olması gerekir [32].

- **Ek düğümlerin yeniden dağıtım evresi:** Eğer ağın bağlantısı ve hata toleransı topolojideki değişikliklerden dolayı ciddi bir şekilde etkilenir ise, dağıtım sonrası evrede ek düğümlerin dağıtılması gerekebilir. Bu duruma göre, herhangi bir zamanda bozuk düğümlerin yerine geçmesi için veya dinamik görevlerdeki değişikliklerden dolayı ek algılayıcı düğümler yeniden dağıtılabılır. Yeni düğümlerin eklenmesi ağın yeniden organize edilmesini gerektirir. Binlerce düğüme sahip geçici ağlardaki sık sık topoloji değişiklikleri ile başa çıkılması ve çok zorlu güç tüketimi sınırlamaları özel yönlendirme protokollerini gerektirir [32].

#### 2.2.6. İletim ortamı

Bir KAA'nın başarılı bir şekilde işlemesi ağdaki düğümler arasında güvenilir iletişime bağlıdır. Çok atlamalı algılayıcı ağlarda düğümler birbirleri arasında oluşturulmuş olan kablosuz bir ortam bağlantıları sayesinde iletişim kurabilirler. Bu bağlantılar radyo, kızılötesi, optik veya akustik bağlantılar tarafından oluşturulabilir. Bu ağların küresel ve birlikte çalışabilirliğini sağlamak için seçilen iletim ortamı dünya genelinde geçerli olmalıdır. Radyo bağlantılarında çoğu ülkede lisansız iletişim sunan Endüstri, Bilimsel ve Tıbbi (Industrial, Scientific and Medical-ISM) bantlar kullanılır. ISM için geçerli olabilen özel bazı frekans bantları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. ISM uygulamaları için geçerli frekans bandları

Frekans bandı	Merkez frekans
6765–6795 kHz	6780 kHz
13553–13567 kHz	13 560 kHz
26957–27283 kHz	27 120 kHz
40.66–40.70MHz	40.68MHz
433.05–434.79 MHz	433.92MHz
902–928MHz	915MHz
2400–2500 MHz	2450MHz
24–24.25 GHz	24.125 GHz

Bu frekans bandlarının bazıları Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks-WLAN)'nda ve telsiz telefon sistemlerinde iletişim için kullanılmaktadır. KAA'lar için küçük boyutlu, düşük maliyetli ve çok düşük güç harcayan verici gereklidir. Donanım kısıtlamaları ve anten verimliliği ile güç tüketimi arasındaki değiş tokuş çok yüksek frekans (Ultra High Frequency-UHF) aralığında bu tür vericiler için taşıyıcı bir frekansın seçimini sınırlar [39]. Sonuç olarak; önceki algılayıcı düğümler Avrupa'da 433 MHz ISM bandını, Kuzey Amerika'da ise 915 MHz ISM bandını destekler. Daha sonraki algılayıcı düğümler, yeni IEEE 802.15.4 standardı tarafından da desteklenen 2.4 GHz bandını kullanır.

Algılayıcı ağların olağandışı uygulama gereksinimleri iletim ortamının seçimini daha zor hale getirir. Örneğin; denizcilik uygulamaları su ortamında iletimin kullanılmasını gerektirebilir. Burada su yüzeyine nüfus edebilen uzun dalga boylu radyasyon kullanılmak istenebilir. Düşman arazilerinde veya savaş uygulamalarında daha büyük parazitlik ve hata eğilimli kanallar ile karşılaşılır. Bir algılayıcı anten diğer kablosuz aygıtların radyasyon gücüne ve yüksekliğine sahip olmayabilir. Bu nedenle iletim ortamının seçimi çok farklı kanal karakteristiklerini etkin olarak modelleyen modülasyon şemaları ve güçlü bir kodlama tarafından desteklenmelidir. Bu olgular göz önüne alındığında son zamanlarda su altı algılayıcı ağ uygulamaları için ortamdaki RF dalgalarının yerine akustik haberleşme teknikleri kabul edilmiştir [32].

### 2.2.7. Enerji tüketimi

Bir kablosuz algılayıcı düğüm donanım kısıtlamalarından dolayı sadece sınırlı enerji kaynağı ile donatılabilir. Ayrıca çoğu uygulama için güç kaynağının yeniden enerji yüklemesi mümkün değildir. Dolayısıyla KAA yaşam süresi algılayıcıların batarya yaşam süresine güçlü bir bağımlılık gösterir. Bu nedenle her düğümün çalışması boyunca enerji tüketen kaynaklar etkin olarak analiz ve muhafaza edilmesi gerekir. Çok atlamalı geçici algılayıcı ağda her düğüm iki ayrı ve tamamlayıcı rol oynar.

- **Veri üretici:** Her algılayıcı düğümün ilk rolü çeşitli algılayıcılar sayesinde ortamdan veri toplamaktır. Ortamı algılayarak üretilen bu verinin çok atlamalı bir şekilde merkezi bir istasyona teslimatı için en yakın düğüme iletilmesi ve işlenmesi gerekir.
- **Veri yönlendirici:** Veri üretimine ek olarak, her algılayıcı düğüm komşuları tarafından iletilen bilginin aktarımından sorumludur. KAA'larda düşük enerjili iletişim teknikleri bir düğümün iletişim aralığını sınırlar. Düğümler merkezi bir istasyon gibi davranan veri toplayıcıya kendi komşuları tarafından gönderilen bilgiyi aktardıkları için çok atlamalı iletişim gereklidir. Bu durumda algılayıcı düğüm komşuları tarafından gönderilen veriyi almaktan ve komşularından birisine bu veriyi iletmekten sorumludur.

Her rol ile ilişkili bu işlemler enerjinin bir algılayıcı düğümde nasıl tüketileceğini etkiler. Bazı düğümlerin başarısızlığı önemli topoloji değişikliklerine neden olabilir ve ağın yeniden organizasyonunu, paketlerin yeniden yönlendirilmesi gerekebilir. Dolayısıyla enerji tüketimi ve enerji yönetimi KAA'larda herhangi bir iletişim protokolünün ayrılmaz bir parçasıdır.

### 2.3. KAA'larda Hizmet Kalitesi

Son zamanlarda dikkati artan bir şekilde çeken önemli bir sorun ise, algılayıcıların dağıtıldıkları fiziksel uzayı nasıl iyi gözlemledikleri üzerine odaklanan kapsanma problemidir. Kapsama KAA'ların Hizmet Kalitesi (Quality of Service-QoS)'nin ölçümlerinden biridir ve enerji tüketimi ile yakından ilişkilidir. Bazı durumlarda harici ortamlarda enerji kaynağı olarak güneş pilleri kullanılması yöntemi ile enerji elde

edilmesi mümkündür [40]. Fakat çoğu uygulamalarda ve senaryolarda algılayıcı düğümler rastgele bir şekilde algılayıcı alanda dağıtımları yapılır. Bu nedenle düşman, çöl veya uzak alanlardaki düğümlerin dağıtımı ve fazla sayıdaki algılayıcı düğüm gibi bir dizi faktörden dolayı algılayıcı düğümlerin bataryalarının değiştirilmesi veya yeniden şarj edilmesi pratik olarak mümkün değildir. KAA'lar ağın yaşam süresini uzatmak için enerji tasarrufu üzerine odaklanırken, geleneksel ağlar verimlilik ve gecikme gibi ölçümlerin gelişimi üzerine odaklanır. Verilen bir alanda bütün hedefler dağıtılan algılayıcılar tarafından izlendiği için ağ yaşam süresi sürekli bir zaman sürecidir.

Kapsama (Coverage) ve Bağlanabilirlik (Connectivity) KAA'larda QoS için kritik konulardır. Algılayıcı ağlar için kapsama QoS'in bir ölçümü olarak düşünülebilir. Eğer QoS ile ilişkili bu parametrelerin sayısı daha fazla olur ise, ağın yaşam süresini azaltan bir şekilde algılayıcıların enerji tüketimi yüksek olur. Dolayısıyla kapsama ve enerji tüketimi ağın kalitesini belirleyen iki ana metriktir [41]. KAA'ların QoS'ini belirleyen ana ölçütler aşağıda açıklanmıştır.

### **2.3.1. Kapsama**

Kapsama, dağıtılan bir ağdaki her algılayıcının ilgili alanı ne kadar iyi ve ne kadar derecede tarayabildiğinin bir ölçütü olarak tanımlanabilir. Kapsama probleminin amacı; bir hedefteki veya ilgili alandaki her bir noktanın ağı oluşturan ve dağıtılan algılayıcıların algılama aralığı içerisinde olup olmadığının belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

### **2.3.2. Bağlanabilirlik**

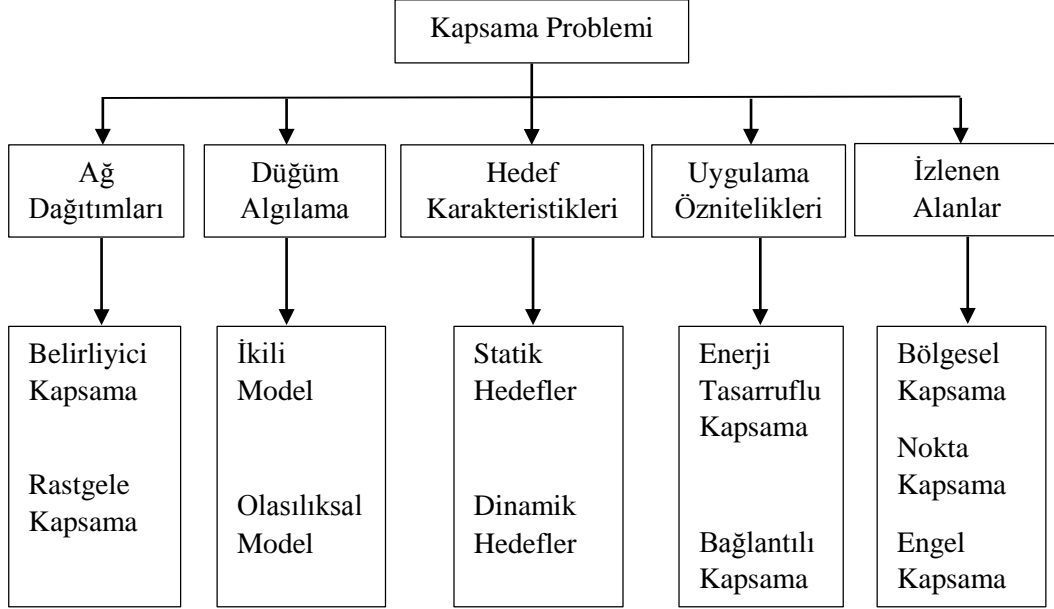
Ağ bağlantısı KAA'lar için önemli bir konudur. Eğer her algılayıcı düğüm çifti diğer algılayıcı düğümler ile doğrudan veya dolaysız olarak iletişim kurar ise, KAA'nın bağlı olduğu kabul edilir. Bağlı bir ağın amacı; gözlemlenen verinin merkezi istasyona ulaşabilmesi için aktif düğümlerin minimum bir alt kümesini bulmaktır. KAA'larda bağlanabilirlik temel bir özellik olarak aşağıda verilen durumlar ile algılayıcı ağın yardımcısıdır:

- İletişim aralığı, algılama, düğüm dağıtım planları ve ağ yoğunluğunu temel alarak ağ durumlarını temsil eder.

- Dağıtım modelleri gibi bir ağın gelişim ve çalışma planı için yol haritası sunar.

## 2.4. KAA'larda Kapsama Probleminin Sınıflandırılması

Kapsama probleminin sınıflandırılmasının akış diyagramı Şekil 2.2'de verilmiştir.



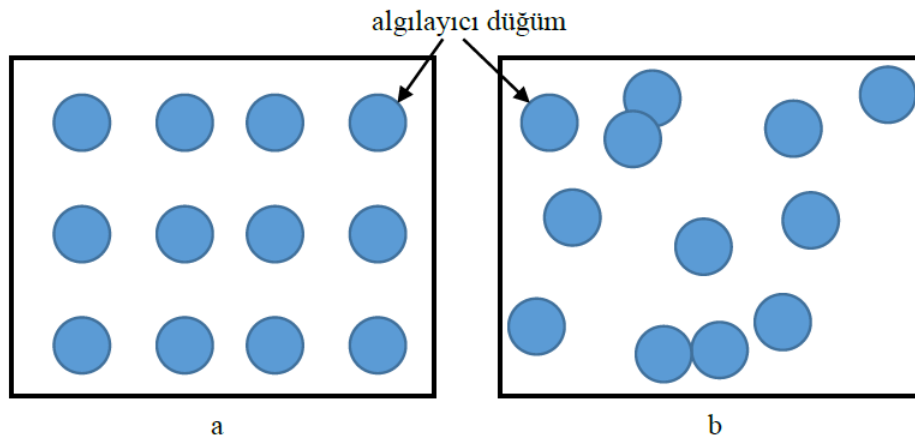
Şekil 2.2. Kapsama probleminin sınıflandırması

### 2.4.1. Ağ dağıtımları

- **Belirleyici (deterministik) kapsama:** Ağın şekli, algılayıcı düğümün konumu gibi önceden tanımlanan parametreleri esas alan bu ağ belirleyici kapsama olarak bilinir [42]. Bu kapsama tipinde algılayıcı düğümler Şekil 2.3a'da gösterildiği gibi daha önceden tanımlanan bir şekilde dağıtılır, fakat bu belirleyici modelde algılayıcı düğümlerin dağıtılması çoğu durum için mümkün değildir. Bu kapsama modelindeki algılayıcı düğümlerin yerleşimi rastgele yerleşim modelinden çok daha kolaydır [41]. Belirleyici modelindeki algılayıcı yerleşimi dost bir ortamda küçük ve orta boyuttaki algılayıcı ağa uygulanabilir. Fakat uzak veya düşman alanlarda, askeri veya afet uygulamalarda, ağın boyutunun çok büyük olduğu durumlarda düğümlerin sayısı ve gerçek konumları hesaplanamayabilir veya daha önceden belirlenemeyebilir [43].

- **Rastgele kapsama:** Bu kapsama tipi (Şekil 2.3b) belirleyici kapsamanın tam tersidir. Yani ağın topolojik yapısı ve algılayıcıların konumları hakkında önceden

tanımlanan geçerli bilgi mevcut değildir. Konum ve topoloji zamandan zamana değişir. Örneğin; düşman alanında zaman ve topoloji değişiklikleri ile uyumlu olarak hareket ederek konumu değişebilir [41]. Geometrik metot düzlem kapsama problemini [44] çalıştığı için genel olarak rastgele dağıtım modelini kullanır. Rastgele kapsamada düğümler mobil olarak kabul edildiğinde yer değiştirme özelliği düğümleri optimum konuma yeniden yerleştirmek için kullanılırken, statik olarak kabul edildiğinde istenilen kapsama ulaşmak için algılayıcılar çok yakın bir şekilde yerleştirilirler. Rastgele kapsamının amacı; enerji tüketimini minimize ederekten kapsamayı sürdürmektir [45].



Şekil 2.3.(a) Deterministik, (b) Rastgele yerleşim

#### 2.4.2. Düğüm algılama

- **İkili Model:** Bu modelde bir algılayıcı  $R$  yarıçapına sahip disk şeklindeki bir alanı algılar ve  $C$  merkezine konumlandığı varsayıldığında, algılayıcının belirli bir hedef olan  $P$  noktasını tarayıp taramadığı hesaplanan “1” veya “0” ikili değerler tarafından belirlenir. Eğer  $dis(P, C) \leq R$  ise hedef noktası olan  $P$ 'nin algılayıcının tarama aralığı içinde olduğu anlamına gelir ve  $P$  noktası algılayıcı tarafından tarandığı için bu  $P$  noktasının etkin kapsama değeri “1” olarak belirlenir, aksi halde “0” olarak belirlenip  $P$  noktasının ilgili algılayıcı tarafından taranmadığı tespit edilir [42,44]. Buradaki  $dis(P, C)$ , merkez ve hedef arasındaki Öklid mesafesidir.

- **Olasılıksal Model:** Olasılıksal Tarama Modeli İkili Tarama Modelinin genişletilmiş hali olarak düşünülebilir [46]. Olasılıksal model için;  $R_u$  bir nicelik,  $R_s$  ise dairesel diskin yarıçapı olarak tanımlanmıştır.  $R_u < R_s$  olmak üzere, herhangi bir



$P$  noktasının TO (Tarama Olasılığı) değeri tanımlanan  $R_s - R_u$  ile  $R_s + R_u$  aralığında tespit edilmektedir. Verilen bu olasılıksal modele göre,  $S_i$  algılayıcısı tarafından  $P(x, y)$  noktasının TO değeri Denklem (2,1) [41]'e göre hesaplanır:

$$C_{(x,y)}(S_i) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } R_s + R_u \leq d(S_i, P) \\ e^{-\omega a^\beta} & \text{eğer } R_s - R_u \leq d(S_i, P) < R_s + R_u \\ 1 & \text{eğer } R_s - R_u \geq d(S_i, P) \end{cases} \quad (2,1)$$

Verilen denklemde,  $R_u$  algılayıcı taramada belirsizliğin bir ölçümü,  $a = d(S_i, P) - (R_s - R_u)$  and  $\omega, \beta$  ise olasılıksal tarama için ölçüm parametreleridir. Olasılıksal Tarama Modeli, kızılötesi ve ultrasonik algılayıcılar gibi cihazların algılama davranışlarını yansıtır. Algılama aralığına bağlı olarak herhangi bir düğümün dağıtılarak takibinin yapıldığı alanın sadece bir alt kümesini algılaması mümkün olacaktır.

#### 2.4.3. Hedef karakteristikleri

- **Statik hedef kapsama:** Statik hedefler sabit olan hedeflerdir. Yani bu hedefler algılayıcı düğüme göre hareket etmeleri mümkün değildir [42,44]. Bu kapsama tipi maksimum kapsama amacı ile çalışır ve gereğinden fazla algılayıcı düğümün sayısını azaltır. Bu kapsama sıcaklık takibi gibi günlük yaşamda görülebilecek en basit bir yaklaşımdır [41].
- **Dinamik hedef kapsama:** Dinamik hedefler algılayıcı düğüme göre yer değiştirme yeteneğine sahiptir. Çalışan bir araç dinamik bir hedef olarak temsil edilebilir [42,44]. Bu tip kapsamanın ana odak noktası dinamik hedefin hareketidir. Bu kapsama tipi statik kapsamaya göre karmaşıktır. Bu kapsama savaş alanı gözetim amacı ile kullanılabilirdiği için askeri uygulamalar için çok kullanışlıdır.

#### 2.4.4. Uygulama öznitelikleri

- **Enerji tasarruflu kapsama:** Bu kapsama türü mevcut olan ağa büyük bir etkisi olduğu için ağdaki algılayıcılar tarafından enerji tüketiminin etkin bir şekilde olup olmadığının üzerine odaklanır [44]. Sınırlı kaynaklarından dolayı alanda veri alışverişini gerçekleştiren algılayıcı düğümler farklı turlarda kapsama tipi “aktif” ve

“uyuyan” düğüm alt kümesi içine bölünerekten sınıflandırılır. Ayrıca bu tür kapsama enerji kaynaklarını koruyarak ağın yaşam süresini artırmak amacı için yapılır [41].

- **Bağlantılı kapsama:** Bu kapsama türü kapsama derecesinin ve iletişim gereksinimlerinin aynı anda nasıl ele alınacağını yanıtlar ve böylece kapsama kontrolünde önemli rol oynar. Ayrıca bu kapsama türü iki şekilde kategorize edilebilir. Aktif düğüm bağlantılı kapsama; zamansal turda algılayıcıların “aktif” ve “uyku” durumu ile ilgilidir. Bağlı yol kapsama; ağı kapsamasında maksimum bir netice elde etmek için bağlı algılayıcı düğümlerin seçim yordamı ile ilgilidir [41].

#### 2.4.5. İzlenen alanlar

- **Bölgesel kapsama:** Bu kapsamada her nokta en az bir algılayıcının gözetimi altındadır. Her noktanın izlenmesi gerektiği için bu kapsama tipinde algılayıcı düğümler yoğun bir şekilde dağıtılmışlardır ve çakışan bir kapsama alanı oluşmuştur. “Yangına karşı orman koruma” bölgesel kapsamaya bir örnektir [41].

- **Nokta kapsama:** Bu kapsama altında sadece sınırlı sayıda ayrık nesnelere veya hedef noktalar izlenecektir. Bu kapsama tipinde algılayıcı düğümler rastgele dağıtım altında alt kümeler içine ayrılmıştır [41].

- **Engel kapsama:** Bu kapsama türü hedeflenen alanda nesnelere hareket şansının hesaplanması ile ilgilidir. Bu şans veya olasılık nesnelere hareket oranı tarafından belirlenebilir. Bu hesaplama dayanarak algılayıcı düğümlerin yoğunluğu hesaplanabilir. Ayrıca, bu hesaplama yardımı ile algılayıcı düğümlerin hedeflenen bölgede nasıl yoğun bir şekilde dağıtılması gerektiği öğrenilebilir. Aynı zamanda engel kapsama Zayıf  $k$ -engel ve Güçlü  $k$ -engel kapsama olarak sınıflandırılabilir [47]. Zayıf  $k$ -engel kapsama; dikey (ortogonal) yol boyunca geçiş bölgesindeki herhangi bir hedef en az  $k$  algılayıcı tarafından tarandığını garanti eder. Güçlü  $k$ -engel kapsama; hedefin  $k$  algılayıcılar tarafından tarandığını garanti eder, fakat hedef tarafından takip edilen bu yol önemli değildir [41].

#### 2.5. Kapsama Stratejileri

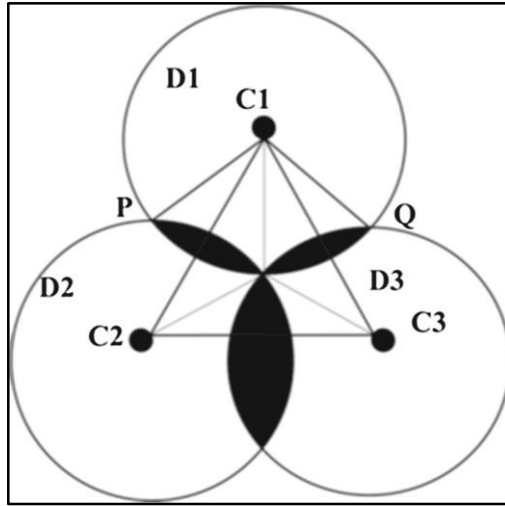
Bu kısımda, maksimum etkin kapsamanın elde edilebilmesi amacıyla önceden tanımlanan farklı kapsama stratejileri açıklanmıştır. Bu tez çalışmasına konu olan

KAA'ların optimize edilmesi amacıyla geliştirilen EM tabanlı algoritmanın kullanılması yeni bir kapsama stratejisi olarak tanımlanmıştır ve bu tezin çalışma konusunu belirlemiştir.

### 2.5.1. Grid tabanlı strateji

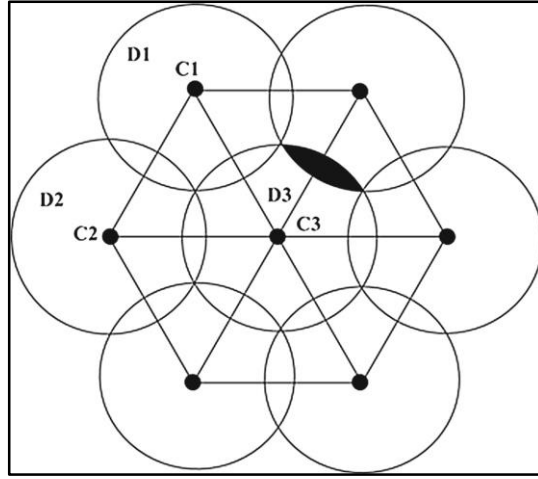
Bu strateji, kapsanan Grid noktalarının oranını tahmin ederekten kapsamının belirlendiği örnekleme metodu kullanılarak algılayıcı düğümlerin konum belirlemesini esas alır. Yaygın olarak kullanılan Grid'ler; üçgen ağ, altıgen ağ, kare ağ ve petek ağdır [48-50]. Farklı tipteki ağları dikkate alarak, bu ağların verimliliği arasındaki bir karşılaştırma yapılabilir. Bir ağın kapsama verimliliği etkin kapsanan alanın algılayıcı düğümler tarafından kapsanacak toplam alana olan oranıdır. İlişkili teori esas alınarak farklı ağların kapsama verimliliği aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

- **Teorem:** D1, D2 ve D3 algılayıcılarının oluşturduğu ağ topolojisi için C1, C2 ve C3 merkezli, bir noktada kesişen ve üç merkez tarafından oluşturularak eşkenar üçgen özelliğini Şekil 2.4'te gösteren bu üçgen, maksimum verimli kapsama alanına ulaşan bir üçgen ağdır. Kapsama verimliliği %94.2'dir [41].



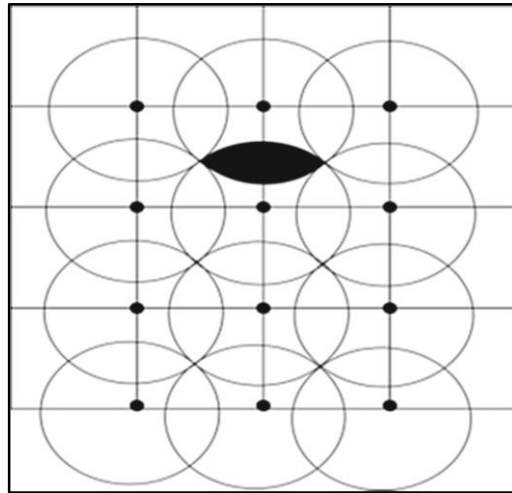
Şekil 2.4.Üçgen ağ

- **Teorem:** Maksimum verimli kapsama alanına ulaşmak için Şekil 2.5'de gösterildiği üzere altıgen ağ kullanılmıştır. Kapsama verimliliği %90.2'dir [41].



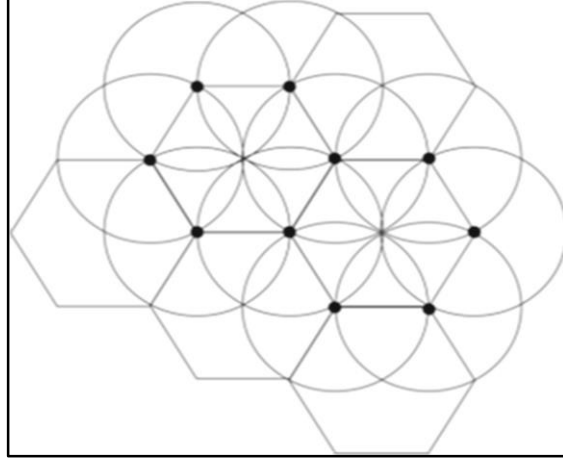
Şekil 2.5. Altıgen ağ

- **Teorem:** D1, D2 ve D3 algılayıcılarının oluşturduğu ağ topolojisi için C1, C2, C3 ve C4 merkezli, bir noktada kesişen ve dört merkez tarafından oluşan dörtgen bir kare özelliği gösteren bu dörtgen, maksimum verimli kapsama alanına ulaşan ve Şekil 2.6'da gösterilen bir dörtgen ağdır. Kapsama verimliliği %81.8'dir [41].



Şekil 2.6. Dörtgen ağ

- **Teorem:** D1, D2, D3, D4, D5 ve D6 algılayıcılarının oluşturduğu ağ topolojisi için C1, C2, C3, C4, C5 ve C6 merkezli dört çemberden oluşan, bir noktada kesişen ve altı merkez tarafından oluşan bir altıgen özelliği gösteren bu düzenli altıgen, maksimum verimli kapsama alanına ulaşan ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi bir petek ağdır. Kapsama verimliliği %60.9'dur [41].



Şekil 2.7.Petek ağ

Petek ağ minimum sayıda algılayıcı düğümlerden oluşan en iyi ağlardan biridir. Aynı zamanda en yüksek kapsama hata toleransı sağlar. Oysaki altıgen ağ çakışan en düşük kapsama alanına ve buna mukabil daha yüksek kapsama verimliliğine sahiptir. Üçgen ve kare ağ iyi performans sağlayan yapı olarak kabul edilebilir.

### 2.5.2. Hesaplamalı geometri tabanlı strateji

KAA'larda optimum kapsamaya ulaşmak için en genel olarak kullanılan hesaplamalı geometrik yapılar: Voronoi şeması ve Delaunay üçgenlemesi'dir [38].

- **Voronoi Şeması:** Bu şema birkaç kapsama algoritmasında model olarak kullanılmıştır. Algılayıcı bir ağ için Voronoi şeması: algılayıcının sınırları içerisindeki her noktanın ağdaki herhangi bir diğer algılayıcıdan ilgili algılayıcıya daha yakın olacak şekilde her bir algılayıcı etrafındaki bir sınır diyagramıdır.

Bir düzlemdeki noktalar kümesi:  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  olsun. Denklem (2,2)'de gösterilen bir Voronoi alanı,  $V(p_i)$ , herhangi bir diğer noktaya  $p_i$  noktası kadar yakın olduğu noktalar kümesidir.

$$V(p_i) = \{x: |p_i - x| \leq |p_j - x|\}, \forall j \neq i \quad (2,2)$$

Kapsama problemini çözmek için genelleştirilmiş Voronoi şemasını (Şekil 2.8a) kullanan algoritmalar literatürde So ve Ye [51] tarafından çalışılmıştır. Burada ilk problem ilgili alanda belirli bir seviyeli  $k$ -kapsamanın olup olmadığını belirlemektir.

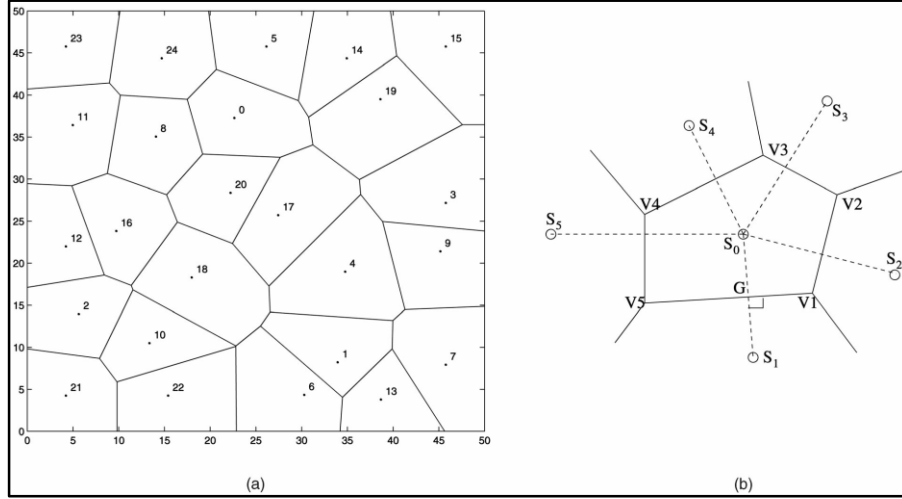
İkinci problem ise algılayıcı düğümler tarafından sağlanan en yüksek seviyeli  $k$ -kapsamayı belirlemektir. Sunulan algoritma ilk problemin  $O(n \log_n + nk^2)$  zamanında çalıştığını ispatlamıştır. Sonrasında üç boyutlu uzay için  $O(n^4)$  zamanında, iki boyutlu uzay için  $O(n^3)$  zamanında çalışacak bir çözüm sağlamıştır.

Rastgele algılayıcı dağıtımında düğümlerin hareketi önemli bir problem olduğundan algılayıcı hareketini kontrol etmek için kapsamadaki çukurları bulmada Wang et al. [52] tarafından Voronoi şeması kullanılarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Burada her bir turda algılayıcılar öncelikle kendi konumlarını yayımlarlar ve alınan komşu bilgisine dayanarak kendi Voronoi çokgenini (Şekil 2.8b) oluştururlar. Sonrasında algılayıcılar kendi Voronoi çokgenini inceleyerek kapsama boşluğunun varlığını belirler. Eğer herhangi bir çukur var ise, algılayıcılar bu kapsama çukurunun boyutunu azaltmak veya ortadan kaldırmak için nereye hareket edeceğini hesaplar. Hedef konumları hesaplamada üç algoritma önerilmiştir.

Vektör tabanlı algoritma (Vector-Based Algorithm–VEC) [52] birbirlerine çok yakın olan iki algılayıcının her iki Voronoi çokgenlerinin birisinde eğer kapsama çukuru var ise, bu algılayıcıları birbirinden uzaklaşmak zorunda bırakır. VEC elektromanyetik parçacıkların özellikleri ile hareket etmektedir. İki elektromanyetik parçacık birbirine çok yakın olduğu zaman bir sevk kuvveti onları birbirinden iter. Herhangi iki algılayıcı olan  $s^i$  ve  $s^j$  arasındaki sanal kuvvet algılayıcıları birbirinden  $(d_{ort} - d(s^i, s^j))/2$  uzaklığına taşımak için onları itecektir. Bu durumda bir algılayıcı kendisinin Voronoi çokgenini tamamıyla kapsar ve hareket etmemesi gerekir. Diğer algılayıcı ise,  $d_{ort} - d(s^i, s^j)$  uzaklığına itilir. Özetle, sanal kuvvet bu algılayıcıları birbirinden  $d_{ort}$  uzaklığıyla itecektir.  $d(s^i, s^j)$  iki algılayıcı arasındaki Öklid mesafesini,  $d_{ort}$  ise bu algılayıcılar arasındaki ortalama Öklid mesafesini temsil etmektedir.

Voronoi tabanlı algoritma (Voronoi-Based Algorithm - VOR) [52], VEC algoritmasının aksine kendi yerel kapsama boşluğuna doğru algılayıcıları çeker. VOR algoritmasında eğer bir algılayıcı kapsama çukurunun varlığını tespit eder ise, bu algılayıcı kendisinin en uzak Voronoi köşesine doğru hareket edecektir ve en uzak Voronoi köşesi kapsanabildiği zaman duracaktır. Minimax algoritma Voronoi çokgeninin merkezine algılayıcıları taşır. VOR algoritmasına benzer şekilde en uzak Voronoi köşesine hareket ederektan çukurları düzeltir. Minimax, en uzaktaki Voronoi

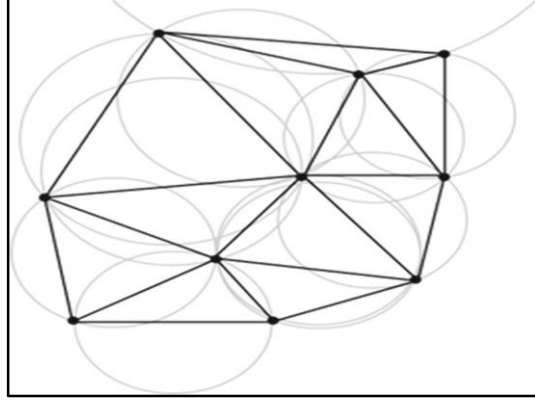
köşesine olan mesafenin minimize edildiği Voronoi çokgeni içerisinde nokta olarak hedef konumunu seçer. Bu nokta Minimax nokta olarak isimlendirilir. Bu algoritma, algılayıcılar eşit bir şekilde dağıtıldığı zaman bir algılayıcının kendi herhangi bir Voronoi köşesinden çok uzakta olmaması gerektiği görüşüne dayanır.



Şekil 2.8.(a) Voronoi şeması (b) Voronoi çokgeni

**Delaunay üçgenlemesi:** Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesindeki her noktanın kendisine en yakın komşu iki nokta ile birleştirilmesiyle oluşturulan üçgene Delaunay Üçgeni adı verilir. En kısa kenarı alarak en yakın iki komşuyu elde etmek için kullanılır. Oluşturulan Delaunay üçgenlerinin kenar orta dikmelerinin birleştirilmesiyle Voronoi çokgeni elde edilir [38].

Şekil 2.9’da gösterilen Delaunay üçgenleme, bütün muhtemel üçgenler arasında minimum kenar uzunluğuna sahip üçgenler üretir. Ayrıca birbirlerinin sınırındaki algılayıcıları bağlayan kenarları çizerekten basit olarak Voronoi diyagramından Delaunay üçgenleme oluşturulabilir. Bu yöntem Meguerdichian et al. [38] tarafından çalışılan maksimum destek yolunu bulmak için kullanılmıştır.



Şekil 2.9.Delaunay üçgenlemesi

### 2.5.3. Hedef kapsama stratejisi

Son yıllarda, Hedef Kapsama Problemi (Target Coverage Problem-TCP)'nin karmaşıklığını azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır. Hedef kapsama için ağ yaşam süresini maksimum yapmak amacıyla çoklu algılama aralıkları ile TCP üzerine bir çalışma [53] yapılmış, uzak hedefin konsepti ile Enerji Verimli Merkezileştirilmiş Greedy ve Sezgisel Algoritma (Energy-efficient Centralized Greedy and Heuristic algorithm - ECGH)'ya dayanan küresel bir bilgi sunulmuş ve uzak hedefi kapsayan algılayıcılara en yüksek öncelik verilmiştir. Küresel bilgi üzerine ECGH'ye bağlılığından dolayı önceliğin algılayıcılara verildiği, bir diğer Enerji Verimli Dağıtık ve Yerelleştirilmiş Greedy Sezgisel Algoritması (Energy-Efficient Distributed and Localized Greedy Heuristic Algorithm - EDLGH) önerilmiştir. EDLGH'de algılayıcılar kendi komşu algılayıcılarından aldıkları bilgiye dayanarak kendi durumlarına (aktif/uyuyan) karar verirler.

### 2.5.4. $K$ -kapsama tabanlı strateji

Gerçek dünyada çoğu zaman daha güçlü izleme (takip) ihtiyacını gerektiren durumlar vardır. Savaş alanları bu şekilde bir takibin yapıldığı alanlara örnek olarak verilebilir.  $K$ -kapsama böylesi durumlarda kullanılabilen stratejidir ve  $k$ -kapsama problemi takip edilen iki yolla tanımlanabilir:

- **Hedef  $k$ -Kapsama:** Verilen bir alanda hedeflerin sayısı  $m$  olan  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  olsun ve Hedef  $k$ -kapsamanın amacı; her  $i = 1, \dots, m$  olan  $t_i$  verilen alanda rastgele olarak dağıtılan en az  $k \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  algılayıcılar tarafından kapsanmasıdır.



- **Alan  $k$ -kapsama:** Alan  $k$ -kapsamanın amacı; verilen alanda her noktanın dağıtılan en az  $k \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  algılayıcıları tarafından kapsanmasıdır. Buradaki  $k$  önceden bilinen bir değerdir.

$K$ -kapsama alanında yapılan çalışmalarda [54-55], farklı planlama yaklaşımlarına dayanan iki  $k$ -kapsama protokolü önerilmiştir. İlki, onun algılama yapan komşuları hakkında yerel bilgiye dayanan ve kendi kendine planlama ile çalışan  $k$ -kapsama (Self-Scheduling Driven  $k$ -Coverage) protokolüdür. Diğeri ise, onun algılama yapan bir kısım komşularının aktif olmasını sağlayacak ve tetiklenen planlama ile çalışan  $k$ -kapsama (triggered-scheduling driven  $k$ -Coverage) protokolüdür. Hem homojen hem de heterojen ortam için bu protokoller tanımlanmıştır [41].

Ammari ve Giudici [54] tarafından yapılan çalışmada, heterojen algılayıcı ağlarda bağlı  $k$ -kapsama problemi üzerine odaklanılmıştır. Doğada heterojen olan algılayıcıların ' $s$ ' kümesi ve bir alan verilsin, aktif kalması için  $s'$ 'deki bütün algılayıcıların birbirlerine  $k \geq 3$  ile bağlıyken alandaki her noktanın  $k$ -kapsandığı algılayıcılar ile minimum bir alt kümesi ( $s' \subseteq s$ ) seçilsin. Tanımlanan problemle başa çıkmak için iki farklı dağıtım stratejisi kullanılmıştır. İlki, heterojen algılayıcıların tek katmanını dikkate alan rastgele bir şekilde dağıtılan yaklaşımdır. İkincisi, heterojen algılayıcıların çok katmanlı bir yapısı ile sözde rastgele olarak dağıtılan yaklaşımdır. Rastgele olarak dağıtılan yaklaşımda, bütün algılayıcılar dairesel bir alanda rastgele bir şekilde dağıtılmıştır ve minimum algılayıcı sayısını seçerek  $k$ -kapsamaya ulaşmak amacı ile çalışırlar. Sözde rastgele dağıtık yaklaşımda farklı algılama yarıçapı ve iletişim aralığında olan algılayıcılar dikkate alınmıştır. Her iki yaklaşım altında, Merkezi Bağlı  $k$ -kapsama ve Dağıtık Bağlı  $k$ -kapsama protokolü önerilmiştir [41].

### 2.5.5. Yol-kapsama stratejisi

Yol kapsama engel kapsamanın üstün nitelikli bir sürümüdür. Kapsama stratejisi altında saldırganlar tarafından belirli bir yolu geçmek için yapılan çabaların fark edilmesi ve belirli bir yolun algılanması için rastgele olarak algılayıcı düğümler dağıtılmıştır. Bu nedenle yoldaki her nokta en az bir algılayıcı tarafından kapsanmalıdır [41].

El ile dağıtılan ağda yol kapsamasının istenen seviyesine algılayıcıların alan boyunca doğru yerleştirilmesi ile sağlanabilir. Bu dağıtım ile ağın dağılımı mümkün

olmadığı zaman rastgele dağıtım, örneğin; uçaktan algılayıcıları bırakarak, kullanılır. Algılayıcıların rastgele dağıtımından dolayı konumu, ağ kapsamı ve istenen yol kapsamı garanti edilmez. Böylece rastgele ağ kapsamının ayrıntılı analizi sonucunda; istenen alan/yol kapsamını sağlamak için düğüm yoğunluğunu belirlemede ağ tasarım evresi faydalı olabilir [56].

Herhangi bir noktadan en yakın algılayıcıya mesafenin sırasıyla maksimum ve minimum olduğu yollar, Maksimum sızma yolu (Maximal breach path -  $M_xBP$ ) ve Maksimum destek yolu (Maximal support path -  $M_xSP$ ) olarak belirlenmiştir. En kötü kapsama durumu  $M_xBP$ 'yi, en iyi kapsama durumu ise  $M_xSP$ 'yi destekler. Pozlama (exposure) kavramının kullanılarak kapsama probleminin çözülmesi optimizasyon problem formülasyonu için temel bir yaklaşımdır. Kapsama probleminin formüle edilmesinde var olan iki tür bakış açısı vardır. Bunlar; en kötü-durum kapsamı ve en iyi-durum kapsamıdır.

En kötü-durum kapsamında, yol boyunca herhangi bir nesne hareketinin düğümler tarafından en az gözlenebilirliğe sahip olduğu algılama bölgesi boyunca bir yolu bulmak amacı ile problem formüle edilmiştir ve böylece bu nesnenin TO değeri minimumdur. Kapsama kalitesini artırmada yol boyunca ek düğümler dağıtılabileceği için en kötü-durum yolunun bulunması önemlidir, çünkü gözlenebilirlik artar. En kötü-durum kapsama problemi için iyi bilinen yaklaşımlar; Minimum Pozlama Yolu (Minimal Exposure Path -  $M_nEP$ ) [57] ve  $M_xBP$  [38]' dir.

En iyi-durum kapsama probleminin formülasyonunda amaç; en yüksek gözlenebilirliğe sahip olan yolu bulmaktır. Bu durumda yol boyunca herhangi bir nesnenin hareketinin tespit edilmesi mümkün olacaktır. En iyi-durum kapsama problemi için iyi bilinen yaklaşımlar; Maksimum Pozlama Yolu (Maximal Exposure Path -  $M_xEP$ ) [58] ve  $M_xSP$  [38]' dir.

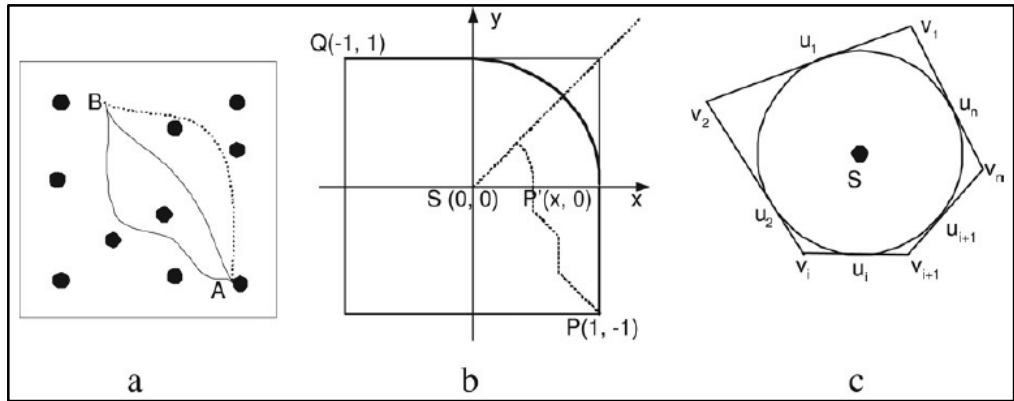
- **Minimum pozlama yolu:** Pozlama kavramı algılama alanındaki kapsama ve dağıtım kalitesini değerlendirmek için literatürde kullanılmıştır. Daha yüksek pozlama daha iyi kapsamadır. Pozlama gayri resmi olarak hareketli bir hedefi tespit etmek için bir algılama alanının nasıl iyi kapsandığının bir ölçüsü olarak açıklanır. Ayrıca bir algılayıcıdan hedefin mesafesine ters orantılı olan bir algılama fonksiyonunun integral yolu olarak tanımlanmıştır [58-59]. Matematiksel olarak  $[t_1, t_2]$  zaman aralığı boyunca

bir algılama alanındaki hareketli nesnenin bir  $p(t)$  yolu boyunca pozlanması aşağıda verilen integral yolu olarak tanımlanır.

$$E(p(t), t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} I(F, p(t)) \left| \frac{dp(t)}{dt} \right| dt \quad (2,3)$$

Denklem (2,3)'te algılama fonksiyonu  $I(F, p(t))$ , algılayıcı alandaki bütün algılayıcılar tarafından veya en yakın algılayıcı tarafından yol üzerindeki bir noktada hassasiyetin bir ölçüsüdür. Bu denkleme göre, pozlamanın tanımı yol-bağımlı bir değerdir ve algılayıcı alanın en kötü-durum kapsamı hakkında değerli bilgiyi sağlar. Şekil 2.10a'da görüldüğü üzere, algılama alanındaki A ve B iki uç nokta göz önüne alındığında onlar arasındaki farklı yolların farklı pozlamaya sahip olması muhtemeldir.  $E(p(t), t_1, t_2)$  integral değerini minimum eden yol  $M_nEP$  olarak adlandırılır.

Şekil 2.10b'de gösterildiği üzere, algılayıcı alandaki P (1,-1) ve Q (-1,1) iki nokta arasındaki minimum pozlama yolu  $|x| \leq 1$  ve  $|y| \leq 1$  olduğu, (0,0) noktasında sadece bir algılayıcının konumlandığı kare bir alan içerisinde sınırlanmıştır. Algılayıcı bölge için bir kare alan gerekli olmadığı zaman, bu yöntem daha genel senaryolara uzatılabilir, fakat Şekil 2.10c'de gösterildiği üzere dış bükey çokgen olan  $v_1, v_2, \dots, v_n$  ve bu algılayıcı dairenin merkezine konumlanmıştır.

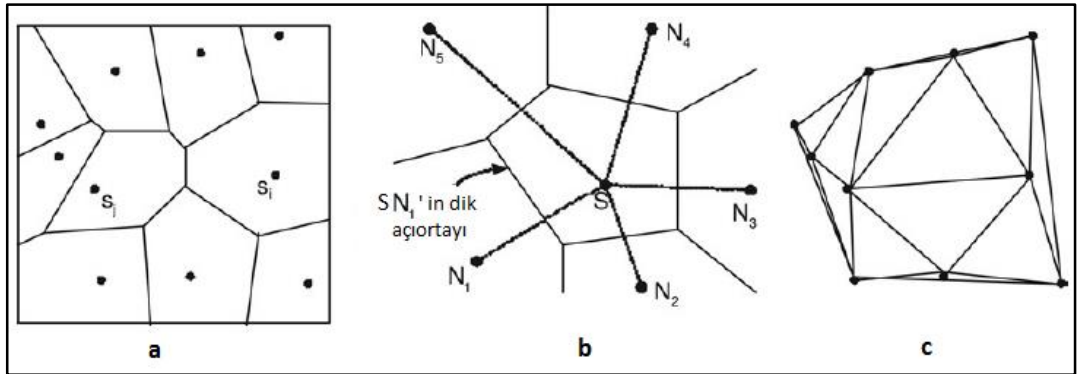


Şekil 2.10. (a) Farklı pozlara sahip A ve B arasındaki farklı yollar (b) Kare algılama alanında tek algılayıcı için  $M_nEP$  (c) Dışbükey çokgen ile sınırlandırılan bir algılayıcı alanda tek bir algılayıcı için  $M_nEP$  [41]

- **Maksimum pozlama yolu ve maksimum sızma yolu:**  $M_xEP$  kavramı bir algılayıcı alanda en yüksek gözlenebilirlik ile ilişkilidir. Algılayıcı bir alanda iki rastgele nokta arasındaki  $M_xEP$  Denklem (2,3)'teki integral tarafından tanımlanmıştır.  $M_xEP$  en iyi kalitede kapsamaya sahip yol olarak tanımlanabilir.

En kötü-durum kapsama yolu için bir diğer çok benzer olan kavram  $M_xBP$  dir. Algılama alanı boyunca yol olarak tanımlandığı için herhangi bir noktadan en yakın algılayıcıya yol üzerindeki bu mesafe maksimumdur [38]. Voronoi diyagramının yapısı bu tür  $M_xBP$ 'yi bulmak için kullanılır. İki boyutlu bir dizi ayrık noktaların Voronoi diyagramına, diğer dizi ise dışbükey çokgenler içerisinde düzleme yerleşir. Dolayısıyla bir çokgen içindeki tüm noktalar sadece bir noktaya en yakındır.

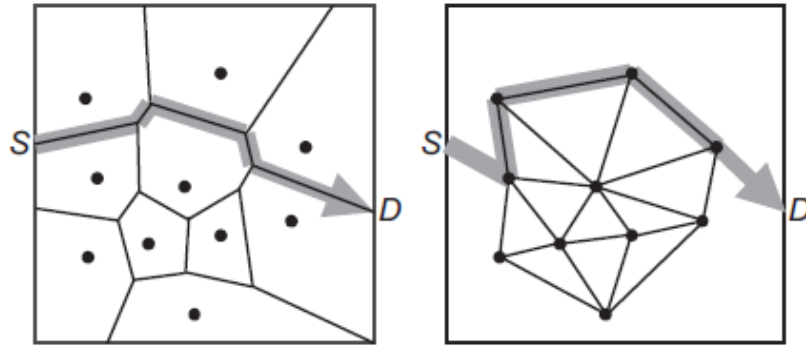
Şekil 2.11a'da rastgele yerleşen 10 düğüm Voronoi çokgeni olarak adlandırılan 10 dış bükey çokgen içinde sınırlandırılan dikdörtgen bölgeye bölünmüştür.  $s_i$  ve  $s_j$  olan herhangi iki düğüm, eğer kendi çokgenleri ortak bir köşeyi paylaşırlar ise, birbirlerinin Voronoi komşuları olarak adlandırılırlar. Şekil 2.11b'de gösterildiği üzere,  $s_i$  düğümü için bir Voronoi çokgeninin bu kenarları  $s_i$  ve onun Voronoi komşularının bağlı hatlarının dik açıortaylarıdır [46].



Şekil 2.11. (a) Rastgele dağıtılan 10 düğümün Voronoi diyagramı (b) S düğümü için Voronoi çokgeni, S ve onun komşusunun bağlantı hatlarının dik açıortayını çizilerekten oluşturuldu (c) Aynı küme düğümler için Delaunay üçgenlemesi

Şekil 2.12'de gösterilen Voronoi diyagramının çizgi dilimleri en yakın yerlerden mesafeyi maksimum yaparak kurduğu için  $M_xBP$  Voronoi kenarları boyunca ilerler. Bir Voronoi diyagramı, öncelikle algılayıcıların konum bilgisinden inşa edilmiştir. Sonrasında her düğümün bir köşeye karşılık geldiği ve her kenarın Voronoi

diyagramında bir çizgi dilimine karşılık geldiği ağırlıklı bir yönsüz grafik oluşturulur. Her kenar en yakın algılayıcıdan minimum mesafeye eşit bir ağırlık verilmiştir.  $M_xBP$ 'yi bulmak için tasarlanan algoritma [38], Enine Öncelikli Arama (Breadth First Search - BFS) algoritmasını kullanarak iki nokta arasındaki bir yolun varlığını kontrol eder ve sonrasında  $M_xBP$ 'yi bulmak için grafikte en küçük ve en büyük kenar ağırlıkları arasında ikili aramayı kullanır.  $M_xBP$  ve  $M_nEP$  arasındaki ince farka dikkat edilmelidir.  $M_xBP$ , belirli bir zamanda verilen herhangi bir noktada pozlamayı minimum yapan bir yoldur. Oysaki  $M_nEP$  belirli bir zaman üzerine odaklanmaz, bütün bir zaman aralığı boyunca elde edilen pozlamayı minimum yapmaya çalışır [46].



Şekil 2.12. (a) Voronoi diyagramı ve  $M_xBP$ 'nin örnekleri (b) Delaunay üçgenlemesi ve  $M_xSP$ , S ve D kaynak ve hedef noktalarıdır

- **Maksimum Destek Yolu:**  $M_xEP$  kavramının yanı sıra, aynı zamanda  $M_xSP$  olarak adlandırılan en iyi-durum kapsammasının diğer bir ölçütü tanımlanmıştır [38]. İki nokta arasında bir algılama alanı boyunca bir  $M_xSP$ , en yakın algılayıcıya onun üzerindeki herhangi bir noktadan bu mesafenin minimum olması için bir yoldur.  $M_xSP$  verilen anlık bir zaman üzerinde odaklanır, oysaki  $M_xEP$  nesnenin hareketi boyunca harcanan bütün zamanı dikkate alır. Algılama alanındaki  $M_xSP$ , onun çifti olan Delaunay üçgenlemesi tarafından Voronoi diyagramı ile yer değiştirerek bulunabilir. Şekil 2.11c'de altta yatan grafiğin kenarları Delaunay üçgenlemesinde karşılık gelen çizgi dilimlerinin uzunluğuna eşit ağırlıklar atanır.  $M_xBP$ 'ye benzeyen  $M_xSP$  algoritması aynı zamanda  $M_xSP$ 'yi bulmak için BFS algoritmasını kullanarak ve ikili aramayı uygulayarak bir yolun varlığını kontrol eder [46].

## 2.6. Elektromagnetizma – Benzer Algoritması

Bu kısımda Birbil ve Fang [60] tarafından geliştirilen ve bu tez çalışmasında önerilen algılayıcı dağıtım yönteminin temelini oluşturan, yeni bir global optimizasyon metodu olarak EM algoritması ayrıntılı olarak incelenecektir.

EM algoritması elektromanyetik alanda yüklü parçacıklar arasında itme-çekme mekanizmasını taklit eden, popülasyon tabanlı bir meta-sezgisel algoritmadır. Bu algoritma sınırlı değişkenler ile doğrusal olmayan gerçek değerli problemleri optimize etmek için tasarlanmıştır. Bu algoritma her noktayı yüklü bir parçacık olarak kabul eder ve her parçacık diğer parçacıklar tarafından etkilenmekte ve sonuç olarak parçacıklar daha iyi bir çözüm uzayına iletilmektedir. EM algoritması gerçek değerli problemler için tasarlanmasına rağmen sayısal değerli problemler üzerinde daha iyi performans sağlamaktadır.

EM algoritmasında her parçacık bir çözümü temsil etmekte ve çözüm kalitesi ile orantılı olarak belirli bir miktarda yük taşımaktadır. Çözümler, çok boyutlu bir uzayda parçacıkların gerçek konumunu veren pozisyon vektörü tarafından tanımlanmaktadır. Parçacıkların uygunluk (amaç) fonksiyon değeri konum vektörleri esas alınarak hesaplanır. Her parçacık popülasyonun diğer üyeleri üzerine itme veya çekme kuvvetleri uygular ve bir parçacık üzerinde oluşan bileşke kuvvet onun konumunu güncellemek için kullanılır. EM algoritmasının asıl amacı; itme veya çekme kuvveti uygulayarak optimum çözüme doğru parçacıkları taşımaktır. Genetik Algoritma ve Tabu Arama gibi meta-sezgisel algoritmaların aksine, ABC [20-22] ve PSO [14-16] algoritmaları gibi meta-sezgiselle benzer olan EM algoritmasında her parçacık popülasyondaki diğer parçacıklar tarafından etkilenir [61]. Ayrıca EM algoritması popülasyonun bir örnek noktalar kümesi üzerinde çalışır. Her örnek nokta yüklü bir parçacık gibi davranır. Belirli bir noktanın yükünü belirlemek için noktanın uygunluk fonksiyon değeri kullanılır. Bu yük temel olarak popülasyon üzerindeki noktanın itme ve çekme büyüklüğünü belirler [62-63].

### 2.6.1. EM algoritmasının genel yapısı

EM algoritması Denklem (2,4)'de verilen sınırlı değişkenler ile optimizasyon problemlerine uygulanabilir.

$$f(x), x \in P$$

$$P = \{x \in \mathfrak{R}^n \mid l_k \leq x_k \leq u_k : l_k, u_k \in \mathfrak{R}, k = 1, 2, 3, \dots, n_u\}, \quad (2,4)$$

Verilen denklemde,  $n_u$  çözüm uzayının boyutunu,  $u_k$  çözüm uzayının üst sınırını,  $l_k$  çözüm uzayının alt sınırını ve  $f(x)$  minimize olacak fonksiyon işaretçisini temsil etmektedir. EM algoritması sırası ile *tanımlama*, *yerel arama*, *hesaplama* ve *yer değiştirme* olarak isimlendirilen 4 yordamdan oluşur.

Orijinal EM algoritmasının taslak kodu *Algoritma 1* [60]'de verilmiştir.

**Algoritma 1.** Orijinal EM Algoritması.

- (1): Tanımlama
- (2): *iterasyon*  $\leftarrow$  1
- (3): **while** *iterasyon* < *max\_iterasyon* **do**
- (4): Yerel noktaları arama
- (5): Yük ve toplam kuvvet hesaplama
- (6): Bileşke kuvvet yönünde yer değiştirme
- (7): *iterasyon*  $\leftarrow$  *iterasyon* + 1
- (8): **end while**

### 2.6.2. “Tanımlama” yordamı

Bir problemi EM algoritması ile optimize etmek için öncelikle bazı parametreler tanımlanmalıdır. En temel parametreler; çözüm uzayının boyutu, çözüm uzayının üst ve alt sınırı, popülasyon sayısı ve maksimum iterasyon sayısıdır. Bu yordamda,  $N_{par}$  elemanlı popülasyondaki parçacıkların dağıtımı  $n_u$  boyutlu çözüm uzayında rastgele olarak yapılır. Her parçacık çözüm uzayının tanımlanan üst ve alt sınır arasında tekdüze olarak dağıtıldığı varsayılır. Ayrıca bu yordamda her bir parçacığın çözüm uzayındaki uygunluk fonksiyon değerinin minimumu tespit edilerek en iyi uygunluk fonksiyon değeri olan  $f(x^{best})$  belirlenir [60].

Popülasyonun çözüm uzayındaki rastgele dağıtımının taslak kodu *Algoritma 2* [64]'de verilmiştir.

**Algoritma 2.** Popülasyonun başlangıçtaki rastgele dağıtımı.

- (1): **for**  $i = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (2):   **for**  $k = 1$  to  $n_u$  **do**
- (3):        $\lambda_{rast} \leftarrow Uniform(0,1)$
- (4):        $x_k^i \leftarrow l_k + \lambda_{rast} \times (u_k - l_k)$
- (5):   **end for**
- (6):    $f(x^i)$ , uygunluk fonksiyon degerini hesapla
- (7): **end for**
- (8):  $f(x^{best}) \leftarrow \arg \min\{f(x^i), \forall i\}$

### 2.6.3. “Yerel arama” yordamı

Çözüm uzayındaki her bir örnek nokta için komşu bilgileri toplamada kullanılır. Bu yordamda yeni bir uygun nokta olan  $y$ ,  $(0,1)$  arasında rastgele adım uzunluğu ile  $x$  örnek noktası doğrultusu boyunca hareket ettirilir. Eğer  $y$  noktası iterasyonlarda daha iyi bir nokta bulur ise, örnek nokta  $x$  yeni nokta  $y$  ile yeri değiştirilir. Böylece en iyi örnek nokta güncellenir. Fakat bu yordam genellikle zaman harcadığından dolayı gerekli değildir ve göz ardı edilebilir [60].

### 2.6.4. “Yük ve toplam kuvvet hesaplama” yordamı

Popülasyondaki her bir parçacık yükünün ve bu parçacıklara uygulanacak toplam kuvvetin hesaplandığı yordamdır. Her bir parçacık yükü,  $q^i$ , parçacığın itme ve çekme gücünü belirler ve Denklem (2,5) [60] kullanılarak hesaplanır.

$$q^i = \exp \left\{ -n_u \frac{f(x^i) - f(x^{best})}{\sum_{j=1}^{N_{par}} [f(x^j) - f(x^{best})]} \right\}, i = 1, 2, \dots, N_{par} \quad (2,5)$$

Verilen denklemde,  $f(x^i)$  popülasyondaki  $i$ 'nci parçacığın uygunluk fonksiyon değerini,  $f(x^{best})$  parçacıklar arasında minimum uygunluk fonksiyon değerine sahip olan parçacığı gösterir. Popülasyonda en büyük yüke sahip olan parçacık “*optimum parçacık*” olarak isimlendirilir. Çünkü bu parçacığın uygunluk fonksiyon değeri olan  $f(x^{best})$ , parçacıklar arasındaki en küçük uygunluk fonksiyon değerine sahip olduğu için en büyük yüke sahip olan bu parçacığın yük değeri 1 olarak hesaplanır [60].



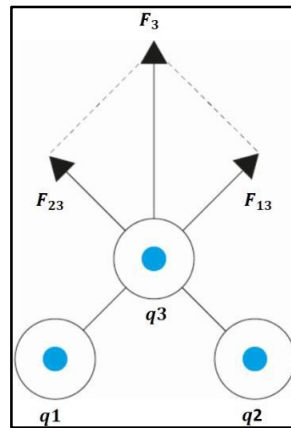
Parçacıkların yük hesabı için taslak kod *Algoritma 3* [64]'te verilmiştir.

**Algoritma 3.** Parçacıkların yük hesabı.

- (1): **for**  $j = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (2):  $\Sigma[f(x^j) - f(x^{best})] \leftarrow (f(x^j) - f(x^{best}))$
- (3): **end for**
- (4): **for**  $i = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (5):  $q^i \leftarrow \exp(-n_u \times (f(x^i) - f(x^{best}))) / \Sigma[f(x^j) - f(x^{best})]$
- (6): **end for**

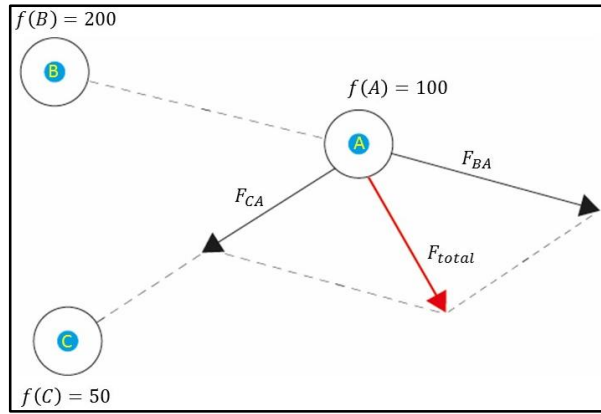
Popülasyondaki her bir parçacığa uygulanan toplam (bileşke) kuvvet,  $F^i$ , popülasyondaki  $i$ 'nci parçacığa diğer parçacıklar tarafından uygulanan kuvvetlerin toplamıdır ve Denklem (2,6) kullanılarak hesaplanır. Bileşke kuvvet Coulomb Yasası temel alınarak hesaplanır [27] ve Elektromanyetizma teorisinin süper pozisyon ilkesine (Şekil 2.13) göre, popülasyon tarafından herhangi bir parçacık üzerine uygulanan kuvvet bu parçacıklar arasındaki mesafe ile ters, kendi yükleri ile doğru orantılıdır [64].

$$F^i = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{par}} \begin{cases} (x^j - x^i) \frac{q_i q_j}{\|x^j - x^i\|^2}, & \text{eğer } f(x^j) < f(x^i) \\ (x^i - x^j) \frac{q_i q_j}{\|x^j - x^i\|^2}, & \text{eğer } f(x^j) \geq f(x^i) \end{cases} \quad (2,6)$$



Şekil 2.13. Süper pozisyon ilkesi

Denklem (2,6)'da eğer  $f(x^j) < f(x^i)$  ise,  $x^i$  parçacığına  $x^j$  parçacığı tarafından çekme kuvveti uygulanmakta ve kuvvetin yönü  $x^i$ 'den  $x^j$ 'ye doğru olmaktadır; eğer  $f(x^j) \geq f(x^i)$  ise,  $x^i$  parçacığına  $x^j$  parçacığı tarafından itme kuvveti uygulanmakta ve kuvvetin yönü  $x^j$ 'den  $x^i$ 'ye doğru olmaktadır. Parçacıkların uygunluk fonksiyonlarının karşılaştırılmasına göre, çözüm uzayında her bir parçacığa belirli bir yönde kuvvet uygulanır. Uygulanan bu itme ve çekme kuvvetlerinin vektör bazında toplamı alındığında, parçacıklar oluşacak bileşke kuvvet vektörü yönünde hareket ederek konumlarını değiştirirler (Şekil 2.14) [60].



Şekil 2.14. A parçacığına uygulanan  $F_{total}$  bileşke kuvveti

Her bir parçacığın  $F^i$  hesabı için taslak kod *Algoritma 4* [64]'de verilmiştir.

**Algoritma 4.** Parçacıklara uygulanan bileşke kuvvetin hesaplanması.

- (1): **for**  $i = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (2):     **for**  $j = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (3):         **if**  $i \neq j$  **then**
- (4):             **if**  $f(x^j) < f(x^i)$  **then**
- (5):                  $F^i \leftarrow F^i + (x^j - x^i) \times (q^i q^j / \|x^j - x^i\|^2)$  {çekme}
- (6):             **else**
- (7):                  $F^i \leftarrow F^i - (x^j - x^i) \times (q^i q^j / \|x^j - x^i\|^2)$  {itme}
- (8):             **end if**
- (9):         **end if**
- (10):     **end for**
- (11): **end for**

### 2.6.5. “Bileşke kuvvet yönünde yer değiştirme” yordamı

Çözüm uzayındaki parçacıklar bileşke kuvvet vektörü yönünde hareket ederek Denklem (2,7)’de verildiği gibi rastgele adım uzunluğu ( $0 < \lambda_{rast} \leq 1$ ) ile konum değiştirirler.

$$x_k^i = \begin{cases} x_k^i + \lambda_{rast} \frac{F_k^i}{\|F^i\|} (u_k - x_k^i) & \text{eğer } F_k^i > 0 \\ x_k^i + \lambda_{rast} \frac{F_k^i}{\|F^i\|} (x_k^i - l_k) & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2,7)$$

$i = 1, 2, \dots, N_{par}, \quad i \neq best, \quad k = 1, 2, \dots, n_u$

Verilen denklemde,  $i$ ’nci parçacığın hesaplanan toplam kuvveti  $F^i > 0$  ise, parçacık çözüm uzayının üst sınırına doğru, aksi durumda alt sınırına doğru hareket eder. Çözüm uzayının tanımlanan  $u_k$  üst sınır ve  $l_k$  alt sınır arasında hareket etmek koşuluyla  $x^i$  parçacığının yeni konumu belirlenir. En iyi uygunluk fonksiyon değerine,  $f(x^{best})$ , sahip olan “*optimum parçacık*” diğer tüm parçacıkları kendisine doğru çekeceği için bu parçacığa bir bileşke kuvvet uygulanmayacak; bu nedenle bu parçacığın konumu değişmeyecektir [60].

Parçacıkların konum değişikliği için taslak kod *Algoritma 5* [64]’de verilmiştir.

**Algorithm 5.** Parçacıkların yeni konumlarının belirlenmesi.

- (1): **for**  $i = 1$  to  $N_{par}$  **do**
- (2):     **if**  $i \neq best$  **then**
- (3):          $\lambda_{rast} \leftarrow Uniform(0,1)$
- (4):         **for**  $k = 1$  to  $n_u$  **do**
- (5):             **if**  $F_k^i > 0$  **then**
- (6):                  $x_k^i \leftarrow x_k^i + \lambda_{rast} \times (F_k^i / \|F^i\|)(u_k - x_k^i)$
- (7):             **else**
- (8):                  $x_k^i \leftarrow x_k^i + \lambda_{rast} \times (F_k^i / \|F^i\|)(x_k^i - l_k)$
- (9):             **end if**
- (10):         **end for**
- (11):     **end if**
- (12): **end for**

### 3. YENİ BİR ALGILAYICI DAĞITIM YÖNTEMİ: OSDA-EM

#### 3.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, KAA'ların dinamik dağıtım problemine optimum çözüm bulmak amacıyla meta-sezgisel bir algoritma olan EM algoritması [60] esas alınarak geliştirilerek ilgili alandaki mobil ve statik algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanmıştır. Geliştirilen ve yeni bir dinamik dağıtım metodu olan OSDA-EM, öncelikle sadece mobil algılayıcılardan oluşan ilgili alandaki düğümlere İkili Tarama Modeli kullanılarak uygulanmıştır. Daha sonra hem mobil hem de statik algılayıcılardan oluşan alandaki düğümlere Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak uygulanmıştır. Geliştirilen OSDA-EM'nin optimum dinamik dağıtım yapabilmesi amacıyla kullanılan her iki modelde örnek çalışmalar yapılarak, tanımlanan uzaklık parametreleri için en uygun değerlerin belirlenmesi sağlanmıştır.

Önerilen OSDA-EM'nin algılayıcıların dinamik dağıtımındaki etkinliğini ve performansını ölçmek için; daha önceden algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanan ve orijinal ABC ve PSO algoritmaları ile elde edilen uygulama sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada algoritmalara göre alanın kapsanma oranı, algılayıcıların birbirlerine olan yakınsama hızları ve algılayıcıların hareket mesafelerine göre enerji tüketimleri ölçülmüştür.

#### 3.2. EM ile KAA'ların Dinamik Dağıtımı

KAA'ların dinamik dağıtımında EM algoritmasının en önemli kullanılma nedeni; algılayıcıların birbirine daha hızlı yakınsamalarını sağlayarak algılayıcı alanın kapsanma oranını maksimum yapabilmektir [63]. Bu amacı gerçekleştirebilmek için aşağıda belirtilen ağ senaryoları dikkate alınarak algılayıcıların ilgili alandaki dinamik dağıtımları yapılmıştır.

- Alanda rastgele dağıtım yapılacak olan tüm algılayıcıların tarama yarıçapları ve belirsiz tarama aralıkları aynıdır.
- Alandaki tüm algılayıcıların birbirleri ile haberleşme yetenekleri vardır.
- Alandaki algılayıcıların bir kısmı mobil diğer bir kısmı da statiktir.
- Algılayıcı alan 2-boyutlu ve 10000 m<sup>2</sup> olan 10201 Grid noktasından oluşan çözüm uzayı kullanılarak temsil edilmektedir.

### 3.3. Önerilen Yöntem için Algılayıcı Tarama Modellerini Esas Alan Kapsama Oranı

Kablosuz ağdaki algılayıcıların dinamik dağıtımlarının etkin olarak yapılması KAA'nın kapsama alanını belirleyen en önemli etkenlerden birisidir. Alan içerisinde sadece mobil algılayıcıların değil, aynı zamanda statik algılayıcılarında kullanılması algılayıcı düğümlerin alan içindeki dinamik dağıtım sorununun çözümüne yönelik önemli bir yaklaşımdır. Önemli olan diğer bir yaklaşım ise, geliştirilen çeşitli dinamik dağıtım stratejilerinden [4-22,63,64] faydalanarak algılayıcıların alan içerisinde konum değişikliklerinin etkin olarak yapılabilmesidir. Nihai olarak; algılayıcıların dinamik dağıtımını etkin bir şekilde yapılabildiği oranda ilgili alanın kapsama oranı artırılarak KAA'nın performansı geliştirilir.

EM algoritması algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanırken KAA'larda kullanılan İkili ve Olasılıksal Tarama Modelleri esas alınır.

#### 3.3.1. İkili tarama modeli için OSDA-EM ile önerilen kapsama oranı hesabı

Bu model, algılayıcı alanda arazi tipi ve gürültü gibi çevresel etkenlerden dolayı belirsizliğin olmadığı varsayımı üzerine çalışır. Alandaki bütün algılayıcıların mobil olduğu ve her bir  $s^i$  algılayıcının ilgili alanda  $(x^i, y^i)$  Grid noktasına konumlanmış olduğu varsayılarak bu modelin KAA'lara uygulaması yapılmıştır. İlgili alanın  $(x, y)$  koordinatındaki herhangi bir  $P$  Grid noktası için  $s^i$  ve  $P$  arasındaki Öklid (Euclidean) mesafesi  $d(s^i, P) = \sqrt{(x^i - x)^2 + (y^i - y)^2}$  eşitliği [8,64] ile hesaplanırken, Grid noktalarının kapsama durumunu tespit eden İkili Tarama Modeli [8,19,64,66,67] Denklem (3,1) kullanılarak hesaplanır.

$$c_{s_{xy}}(s^i) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d(s^i, P) < r \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (3,1)$$

Verilen denklemde her bir  $P$  Grid noktasının kapsama durumu belirlenirken ikili sayı sistemi esas alınarak hesaplama yapılır. Çözüm uzayındaki  $s^i$  algılayıcısının herhangi bir  $P$  noktasına olan  $d(s^i, P)$  Öklid mesafesi algılayıcının  $r$  tarama yarıçapından küçük ise,  $P$  noktası  $s^i$  algılayıcısı tarafından %100 kapsanır ve  $P$  Grid noktasının kapsama durumu ikili tabanında 1 değeri ile belirtilir. Aksi durumda ise,  $P$  noktası

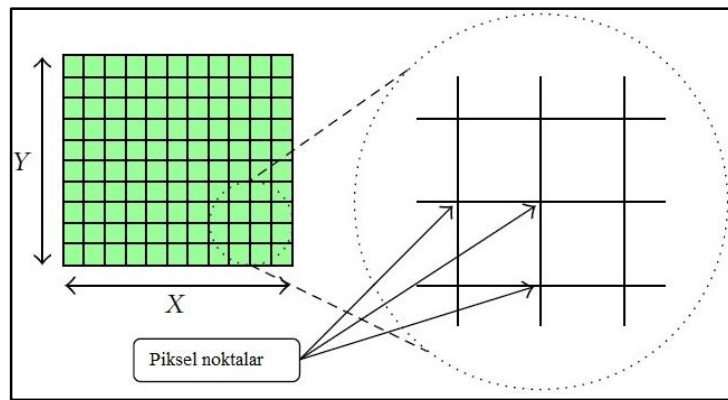
herhangi bir  $s^i$  algılayıcının  $r$  yarıçapı içinde taranmayacağından dolayı bu noktanın kapsanma durumu ikili tabanında 0 değeri ile belirtilir.

Şimdiye kadar çeşitli optimizasyon algoritmaları [19-21] ile KAA'nın dinamik dağıtımını yapılırken ağın kapsama oranının hesaplanmasında Denklem (3,2) kullanılmaktadır.

$$CR = \frac{\cup c_i}{A}, i \in S \quad (3,2)$$

Verilen denklemde,  $c_i$   $i$ 'nci algılayıcının kapsama alanını,  $S$  düğümler kümesini,  $A$  çözüm uzayının  $m^2$  türünden toplam alanını göstermektedir. Alandaki her bir algılayıcının kapsadıkları alanının birleşiminin ( $\cup c_i$ ) ilgili alanın toplam boyutuna bölünmesiyle ağın toplam kapsama oranı (Coverage Rate - CR) hesaplanır.

Bu tez çalışmasında, geliştirilen OSDA-EM tarafından KAA'ların dinamik dağıtımını optimum olarak gerçekleştirilerek ilgili alanın kapsanma oranının etkin olarak hesaplanmasında ağın kapsama haritasını [26] esas alan yeni bir yaklaşım [64] önerilmiştir. Öncelikle çözüm uzayındaki Grid noktalar Şekil 3.1'de gösterildiği gibi matris ile temsil edilip her bir Grid noktasının kapsanma durumu belirlenerek ağın kapsama haritası oluşturulur. Kapsama haritasındaki bu temsili matrisin 0 ile 1 arasında almış olduğu ikili sayı tabanındaki değerler Grid noktalarının kapsanma durumunun tespiti için kullanılmıştır. Eğer matris değeri 1 olarak hesaplanır ise, ilgili Grid noktasının algılayıcılar tarafından kapsandığı, aksi halde 0 değeri ile bu noktanın kapsanmadığı tespit edilir.



Şekil 3.1.Kapsama haritasının Grid noktaları ile temsili

İlgili alanın kapsama oranını hesaplamak için bu tezde önerilen yaklaşımda kapsama haritasını temsil eden matris boyutu (ilgili alanın toplam boyutu) Denklem (3,3) [64] kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_k = 1 + L_x * 2 , d_s = 1 + L_y * 2 , A = d_k * d_s \quad (3,3)$$

Verilen denklemde, sırasıyla  $d_k$  ve  $d_s$  matrisin kolon ve satır sayısını,  $L_x$  ve  $L_y$  kapsama haritasındaki  $x$  ve  $y$  koordinatının birim uzunluğunu,  $A$  kapsama haritasındaki Grid noktalarının toplam sayısını gösterir. Dolayısıyla önerilen yaklaşımda, Şekil 3.1'de gösterilen kapsama haritasının toplam alanı hesaplanırken önceki çalışmalarda hesaplandığı gibi, Denklem (3,2)'de tanımlanan alanın  $m^2$  türünden boyutunun aksine Denklem (3,3)'e göre alandaki toplam Grid sayısı esas alınmıştır.

Bu yaklaşımda öncelikle kapsama haritasındaki her bir Grid noktasının kapsama durumu Denklem (3,4) [64] ile tespit edilmiştir.

$$cs_{xy}(s^i) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d(s^i, P) < r \text{ ve } d(s^i, s^j) \leq com\_r \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}, \forall i \in S \quad (3,4)$$

Verilen denklemde, kapsama haritasının herhangi bir  $(x, y)$  koordinatındaki  $P$  Grid noktası ile  $s^i$  algılayıcısının Öklid mesafesi algılayıcı tarama yarıçapından küçük ise, ve  $s^i$  algılayıcısının herhangi bir  $s^j$  algılayıcısı ile Öklid mesafesi alandaki algılayıcıların birbirleri ile iletişim kurmaları için gerekli olan haberleşme yarıçapından küçük ise,  $P$  noktası  $s^i$  algılayıcısı tarafından kapsanır. Alandaki herhangi bir Grid noktasının herhangi bir algılayıcı tarafından kapsanması tek başına yeterli bir şart değildir. Çünkü herhangi bir  $s^i$  algılayıcısının herhangi bir  $s^j$  algılayıcısı ile haberleşme yarıçapı ( $com\_r$ ) aralığında komşuluğunun olmaması,  $s^i$  algılayıcısının alandaki hiçbir algılayıcı ile haberleşmemesine neden olacak ve bunun sonucunda  $s^i$  algılayıcısı hem merkez (baz) istasyonu hem de komşu algılayıcılar ile veri transferi gerçekleştiremeyecektir. Bu husus algılayıcıların kendi içindeki bağlanabilirliği (connectivity) [4,46,56] açısından çok önemlidir.

Önerilen yöntemeye göre, İkili Tarama Modeli kullanılarak kapsama haritasındaki her bir  $P$  Grid noktasının kapsanma durumunun tespiti sonrasında ilgili alanın toplam kapsama oranı ( $TKO_{ikili}$ ) Denklem (3,5) [64] ile hesaplanmıştır.

$$TKO_{ikili} = \frac{\sum cs_{xy}(s^i)}{A}, \forall i \in S \quad (3,5)$$

Verilen denklemde,  $TKO_{ikili}$  Denklem (3,4)'te verilen şarta uyarak alandaki kapsanan Grid noktalarının toplam sayısının kapsama haritasındaki toplam Grid sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

### 3.3.2. Olasılıksal tarama modeli için OSDA-EM ile önerilen kapsama oranı hesabı

Olasılıksal Tarama Modeli her zaman arazi tipi ve gürültü gibi çevresel etkenlerden dolayı algılayıcı alanda belirsizliğin olduğu varsayımına dayalı olarak çalışır ve gerçeğe daha uygun sonuçlar verir. Kızılötesi ve ultrasonik algılayıcılar gibi cihazların algılama aralığının davranışını yansıtır [8].

İlgili alanın kapsanma oranının hesaplanmasında İkili Tarama Modeli sadece algılayıcı tarama yarıçapını ölçüt alırken, Olasılıklı Tarama Modeli ise algılayıcıların tarama yarıçapını, belirsiz tarama aralığını ve ölçüm parametrelerini dikkate alır. Alandaki algılayıcıların hem mobil hem de statik olduğu ve her bir  $s^i$  algılayıcının ilgili alanda  $(x^i, y^i)$  Grid noktasına konumlanmış olduğu varsayılarak bu modelin uygulaması yapılmıştır. Olasılıksal Tarama Modeli [8,21,68] kullanılarak kapsama haritasındaki tüm Grid noktalarının TO değeri Denklem (3,6) [68] ile hesaplanır.

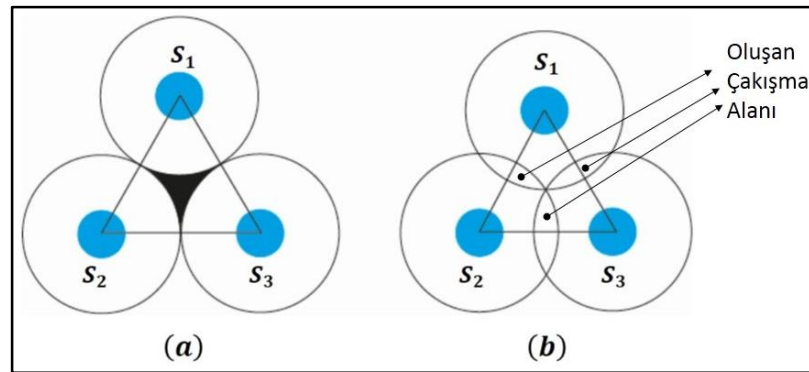
$$dp_{xy}(s^i) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } r + r_e \leq d(s^i, P) \\ e^{-\lambda\alpha^\beta}, & \text{eğer } r - r_e < d(s^i, P) < r + r_e \\ 1, & \text{eğer } r - r_e \geq d(s^i, P) \end{cases} \quad (3,6)$$

Verilen denklemde,  $dp_{xy}(s^i)$  ilgili alanın  $(x, y)$  konumundaki herhangi bir  $P$  Grid noktasının  $s^i$  algılayıcısı tarafından hesaplanan TO değerini ifade eder. Algılayıcının tarama yarıçapını  $r$ , belirsiz tarama yarıçapını  $r_e$  ( $r_e < r$ ),  $\alpha = d(s^i, P) - (r - r_e)$ ,  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri [8,68] ise TO'nun ölçüm parametrelerini gösterir.



Olasılıksal Tarama Modelini İkili Tarama Modelinden ayıran fark  $P$  noktası ile  $s^i$  algılayıcısı arasındaki  $d(s^i, P)$  olan Öklid mesafesi esas alınarak algılayıcılar tarafından alandaki her bir Grid noktasının farklı olasılıklar ile taranmasıdır. Kablosuz ağlardaki algılayıcıların dinamik dağıtımında kullanılan iyi tarama modeli ilgili alandaki her bir Grid noktasının belirli bir olasılık değeri ile taranmasına imkân tanıyan Olasılıksal Tarama Modelidir. Eğer  $r_e > 0$  ise, bu değer ihmal edilemez ve Olasılıksal Tarama Modeli tarafından algılayıcı alanının toplam kapsama oranı belirli bir eşik değeri esas alınarak hesaplanır. Bu modelde, ilgili alandaki bütün Grid noktaları algılayıcıların tarama tepkilerindeki belirsizlikten dolayı aynı olasılık değeri ile taranmaz. Eğer alandaki herhangi bir  $P$  Grid noktası sadece bir algılayıcı tarafından  $d(s^i, P) > r - r_e$  olacak şekilde taranır ise, bu Grid noktası düşük bir TO değeri ile kapsanır. Bu durumda düşük TO ile taranan Grid noktalarının TO değerlerini dengelemek için Şekil 3.2b’de gösterildiği gibi algılayıcıların tarama yarıçaplarının çakışmasına (overlap) ihtiyaç duyulur [8,54,68]. Eğer  $r_e \approx 0$  ise, bu değer ihmal edilir ve algılayıcıların kapsama alanını hesaplamak için İkili Tarama Modeli kullanılır [64]. İkili Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda algılayıcıların kapsama alanları çakışsa bile bu alandaki Grid noktalarının kapsama durumları değişmez.

Şekil 3.2b’de  $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$  algılayıcılarının tarama yarıçaplarının kesişmesi ile oluşan çakışma alanındaki her bir Grid noktasının hesaplanan TO değeri, Şekil 3.2a’da çakışma alanı içinde olmayan ve herhangi bir algılayıcı ile  $d(s^i, P) > r - r_e$  olacak şekilde taranan Grid noktasının hesaplanan TO değerine göre daha büyük olacaktır [8].



Şekil 3.2. Algılayıcılar tarafından (a) çakışmanın oluşmadığı ve (b) çakışmanın oluştuğu durumlardaki konumları

Şekil 3.2b’de gösterilen  $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$  algılayıcıları tarafından oluşturulan çakışma alanı içerisindeki herhangi bir  $(x, y)$  konumunda bulunan Grid noktalarının TO değeri Denklem (3,7) [8,68] kullanılarak hesaplanır.

$$TO_{xy}(s_{ovl}^i, s_{ovl}^j) = 1 - \left(1 - dp_{xy}(s_{ovl}^i)\right) \left(1 - dp_{xy}(s_{ovl}^j)\right) \quad (3,7)$$

Verilen denklemde  $dp_{xy}(s_{ovl}^i)$  ve  $dp_{xy}(s_{ovl}^j)$ , tarama yarıçapları çakışan  $s^i$  ve  $s^j$  algılayıcılarının 0 ile  $r$  aralığındaki çakışma alanının  $(x, y)$  konumunda bulunan herhangi bir Grid noktasında oluşturdukları TO değerini gösterir. Dolayısıyla Denklem (3,7) ile tarama yarıçapları çakışan sadece 2 algılayıcının oluşturduğu çakışma alanı içinde bulunan Grid noktalarının TO değerleri hesaplanabilir.

Eğer tarama yarıçapları çakışan ve her  $P$  Grid noktasını  $0 \leq d(s^n, P) \leq r$  aralığında tarayan  $n$  ( $n > 2$ ) adet algılayıcı var ise,  $S_{ovl} \subseteq (s^1, s^2, \dots, s^n)$  olan algılayıcı kümesi tarafından  $(x, y)$  konumunda bulunan Grid noktasının TO değeri Denklem (3,8) ile hesaplanır [68].

$$TO_{xy}(S_{ovl}) = 1 - \prod_{s^i \in S_{ovl}} \left(1 - dp_{xy}(s^i)\right) \quad (3,8)$$

Eğer tarama yarıçapları çakışma alanı oluşturmayan (Şekil 3.2a) ve her  $P$  Grid noktasını  $0 < d(s^n, P) \leq r + r_e$  aralığında tarayan  $n$  ( $n \geq 1$ ) adet algılayıcı var ise,  $S_{non\_ovl} \subseteq (s^1, s^2, \dots, s^n)$  olan algılayıcı kümesi tarafından  $(x, y)$  konumunda bulunan Grid noktasının TO değeri Denklem (3,9) ile hesaplanır.

$$TO_{xy}(S_{non\_ovl}) = 1 - \prod_{s^j \in S_{non\_ovl}} \left(1 - dp_{xy}(s^j)\right) \quad (3,9)$$

Bu tez çalışmasında, Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak KAA’ların dinamik dağıtım probleminin çözümüne yönelik olarak ağın kapsama oranının etkin olarak hesaplanması amacıyla geliştirilen OSDA-EM ile yeni bir yaklaşım önerilmiştir. İlgili alanda tarama yarıçapları çakışan veya çakışmayan algılayıcılar tarafından kapsanan bütün Grid noktaların TO değerleri Denklem (3,6-3,9) kullanılarak hesaplandıktan sonra, önerilen yaklaşımda her bir  $P$  Grid noktasının etkin olarak kapsanma durumunun tespit edilebilmesi için Denklem (3,10) kullanılmıştır.

$$c_{S_{xy}}(s^i) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } TO_{xy}(S_{ovl}) \geq c_{th} \text{ veya } TO_{xy}(S_{nonovl}) \geq c_{th} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (3,10)$$

$, \forall i \in S$

Verilen denklemde  $c_{th}$ , Grid noktalarının etkin bir şekilde kapsanabilmesi için hesaplanan TO'nun eşik değeridir. İlgili alanın  $(x, y)$  konumundaki  $P$  Grid noktası eğer birden fazla algılayıcının taradığı bir çakışma alanında bulunur ise, veya sadece tek bir algılayıcı tarafından taranır ise, bu Grid noktasının TO değeri  $c_{th}$ 'den büyük olduğunda  $P$  noktası etkin olarak kapsanır. Aksi durumda bu Grid noktası kapsanmaz ve kapsanma durumu 0'a eşit olur.

Olasılıksal Tarama Modeli ile kapsama haritasındaki her bir Grid noktasının kapsanma durumunun tespiti sonrasında ağın toplam kapsama oranı ( $TKO_{olasılık}$ ) Denklem (3,11) [68] kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TKO_{olasılık} = \frac{\sum c_{S_{xy}}(s^i)}{A}, \forall i \in S \quad (3,11)$$

Verilen denklemde  $TKO_{olasılık}$ , Denklem (3,10)'da verilen şarta uyarak alandaki kapsanan Grid noktalarının toplam sayısının Denklem (3,3)'te belirlenen kapsama haritasındaki toplam Grid sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

### 3.4. EM Algoritmasını Esas Alan Optimum Algılayıcı Tarama Algoritması

Bu tez çalışmasında, sadece ilgili alandaki mobil algılayıcıların daha etkin olarak dinamik dağıtımlarını gerçekleştirebilmek için EM'yi temel alan OSDA-EM [64] geliştirilmiştir. OSDA-EM'nin amacı; algılayıcı alanda rastgele olarak başlangıç dağılımı yapılan mobil algılayıcılara EM algoritması uygulanması sonrasında algılayıcıların alandaki değişen yeni konumları esas alınarak optimum olmayan herhangi bir mobil algılayıcının optimum olan tüm mobil ve statik algılayıcılara göre optimum konuma yerleşmesini sağlamaktır. Bu aşamada öncelikle optimum olmayan herhangi bir mobil algılayıcının alandaki optimum olan tüm mobil ve statik algılayıcılar ile aralarındaki Öklid mesafesi hesaplanarak tanımlanan uzaklık parametreleri ile kontrolü gerçekleştirilir. Bu parametreler; herhangi bir mobil algılayıcının optimum komşuluk mesafesinin üst sınırını belirleyen optimum üst sınır mesafesi (Optimal Upper Bound Distance-*OptUBD*), optimum komşuluk

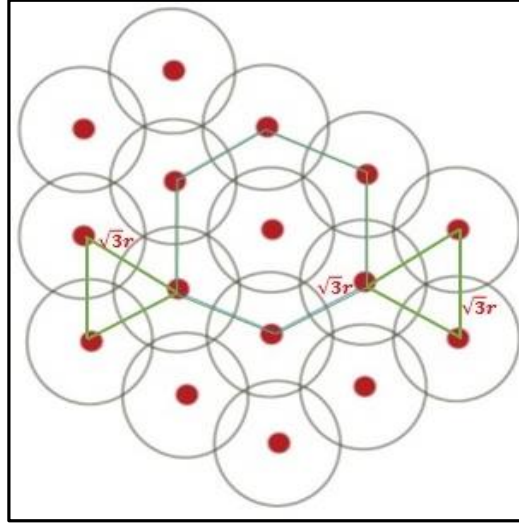
mesafesinin alt sınırını belirleyen optimum alt sınır mesafesi (Optimal Lower Bound Distance–*OptLBD*) ve optimum olmayan herhangi bir algılayıcının dağıtımı sonrasında yerleştiği konuma göre sadece optimum olan algılayıcılara en çok yakınsama mesafesini belirleyen maksimum yakınsama mesafesi (Maximum Convergence Distance–*MCD*) olarak tanımlanmıştır. Bu parametreler esas alınarak alandaki her bir mobil ve statik algılayıcıya yakınsayan mobil algılayıcılar belirlenir. Belirleme işleminde; optimum olmayan mobil algılayıcılara EM'nin uygulanması sonrasında yeni konumuna yerleşerek optimum olma durumu tespit edilecek olan herhangi bir mobil algılayıcı, optimum olan en az bir mobil veya statik algılayıcı ile olan yakınsama mesafesi *OptUBD* ve *OptLBD* parametreleri ile tanımlanan mesafe aralığında ise ve optimum olan herhangi bir algılayıcıya *MCD*'den daha fazla yaklaşmaz ise o zaman bu algılayıcı optimum konuma yerleşir ve ilgili alandaki optimum olan herhangi bir mobil veya statik algılayıcı ile komşu olur. Optimum konuma yerleşen bu mobil algılayıcının diğer optimum olan algılayıcılar ile olan komşuluğu için optimum komşu algılayıcı sayısı (Optimal Neighbour Sensor Number–*OptNSN*) parametresi hesaplanmıştır. Optimum olma durumu tespit edilecek olan herhangi bir mobil algılayıcı optimum konumda olan bir diğer mobil veya statik algılayıcıya *MCD* parametresi ile tanımlanan mesafeden daha çok yaklaşır ise, bu durum o mobil algılayıcının optimum olmamasına neden olur. Optimum olmayan bu mobil algılayıcının diğer optimum olan algılayıcılar ile olan komşuluğu için optimum olmayan komşu algılayıcı sayısı (Non-Optimal Neighbour Sensor Number–*NOptNSN*) parametresi hesaplanmıştır.

OSDA-EM'de optimum olma durumu tespit edilecek olan herhangi bir mobil algılayıcının optimum olabilme şartı; bu algılayıcının hesaplanan *OptNSN* parametresinin en az 1 olması ve hesaplanan *NOptNSN* parametresinin 0'a eşit olmasıdır. Dolayısıyla ilgili alanda herhangi bir algılayıcının optimum konuma yerleşebilmesi için en az bir tane optimum algılayıcı ile komşu olması ve bu algılayıcının optimum olan herhangi bir algılayıcıya *MCD* parametresi değerinden daha fazla yaklaşmaması gerekir. Aksi halde bu algılayıcının optimum konumda olmadığı tespit edilerek yeniden ilgili alanda konum değişikliğinin yapılması gerekir.

OSDA-EM'de herhangi bir algılayıcının optimum olması için verilen şarta uyan alandaki mobil algılayıcılar optimum algılayıcı olarak tanımlandığı için bu

algılayıcılar optimum mobil algılayıcılar (Optimal Mobil Sensors-*OptMS*) dizisine, bunların sayısı ise optimum mobil algılayıcı sayısı (Optimal Mobil Sensor Number-*OptMSN*) parametresine aktarılmıştır.

Ortamdaki tüm algılayıcıların optimum olabilmesi için algılayıcılar arasındaki Öklid mesafesinin Şekil 3.3'teki gibi en fazla  $\sqrt{3}r$  olması gerekir. İkili Tarama Modelinde sadece mobil algılayıcıların dağıtımı yapıldığı için bu mesafe esas alınarak optimum algılayıcı dağıtımının elde edilmesi Olasılıksal Tarama Modeline göre daha fazla mümkün olmaktadır. Çünkü Olasılıksal Tarama Modelinde mobil algılayıcılar ile birlikte statik algılayıcılarda ortamda rastgele dağıtımı yapıldığından dolayı statik algılayıcıların konumları bir daha değişmeyecektir. Ortamdaki statik algılayıcıların sabit konumları esas alınarak OSDA-EM ile ilgili alandaki mobil algılayıcıların dinamik dağıtımları yapılmıştır. Olasılıksal Tarama Modeli ile mobil algılayıcıları statik algılayıcılara göre optimum mesafede hizalamak mümkün olamayacaktır. Fakat Olasılıksal Tarama Modeli ayrıca  $r_e$ 'yi esas alarak algılayıcıların kapsama alanlarını belirlediği için ilgili alanın kapsama oranının hesaplanmasında İkili Tarama Modeline göre her zaman daha optimum sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.3. Optimum algılayıcı dağılımı [68]

Sonuç olarak; tanımlanan uzaklık parametreleri ve algılayıcıların optimum olma şartları esas alındığında, OSDA-EM ilgili alandaki tüm algılayıcılara uygulanarak optimum konuma yerleşen mobil algılayıcılar tespit edilmiştir ve Şekil 3.3'teki gibi

algılayıcıların birbirlerine optimum şekilde yakınsamaları gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Geliştirilen OSDA-EM'nin taslak kodu [64] aşağıda verilmiştir.

**Algorithm 6:** Önerilen OSDA-EM.

- (1): Alandaki  $N_{mobil}$ 'i tanımla
- (2): Algılayıcıların rastgele dağıtımını sonrasında  $OptMSN$ 'yi tespit et
- (3): **for**  $i = 1$  to  $N_{mobil}$  **do**
- (4):      $OptNSN \leftarrow 0, NOptNSN \leftarrow 0$
- (5):     **if**  $s^i \notin OptMS[]$  **then**
- (6):         **for**  $j = 1$  to  $OptMSN$  **do**
- (7):             **if**  $d(s^i, s^j) \geq OptUBD$  **and**  $d(s^i, s^j) \leq OptLBD$  **then**
- (8):                  $OptNSN \leftarrow OptNSN + 1$
- (9):             **else if**  $d(s^i, s^j) < MCD$
- (10):                  $NOptNSN \leftarrow NOptNSN + 1$
- (11):             **end if**
- (12):         **end for**
- (13):     **if**  $OptNSN \geq 1$  **and**  $NOptNSN == 0$  **then**
- (14):          $OptMSN \leftarrow OptMSN + 1$
- (15):          $OptMS [OptMSN] \leftarrow i$
- (16):     **end if**
- (17): **end if**
- (18): **end for**

### 3.5. İkili Tarama Modeli ile OSDA-EM'nin Dinamik Dağıtıma Uygulanması

Bu tez çalışmasında, geliştirilen OSDA-EM'nin sadece mobil algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanması durumunda İkili Tarama Modeli ile optimum çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla; İkili Tarama Modeli esas alınarak algılayıcı alandaki tüm mobil algılayıcıların etkin dinamik dağıtımını gerçekleştirmek için geliştirilen OSDA-EM'nin algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

**Algoritma 7:** İkili Tarama Modeli kullanılarak mobil algılayıcıların EM algoritması ile dağıtımını sonrasında OSDA-EM tarafından dinamik dağılımlarının gerçekleştirilmesi ve alanın kapsama oranının hesabı [64]

(1): *Tanımla*

Öncelikle algoritmada kullanılan parametreler tanımlanır. Bu parametreler; algılayıcı tarama yarıçapı, algılayıcıların iletişim aralığı ( $com\_r$ ), kapsama alanının toplam boyutu ( $A$ ), optimum alt ve üst sınır mesafeleri ( $OptUBD, OptLBD$ ), optimum algılayıcıya maksimum yakınsama mesafesi ( $MCD$ ), mobil algılayıcıların veya popülasyonun sayısı ( $N_{mobil}$ ), çözüm uzayının boyutu ( $n_u$ ), çözüm uzayının üst ve alt sınır koordinatları ( $u_k, l_k$ ), maksimum iterasyon sayısı ( $N_{max-iter}$ ), maksimum uygulama sayısı ( $N_{max-sim}$ ).

(2):  $run = 1$

(3): **while**  $run \leq N_{max-sim}$

(4):  $iter = 1$

(5): *Mobil algılayıcıları ilgili alanda rastgele olarak dağıt ve uygunluk fonksiyonu ( $f_x$ ) değerlerini hesapla*

Mobil algılayıcılardan oluşan popülasyonun ilgili alandaki rastgele dağıtımını *Algoritma 2* tarafından gerçekleştirilir. Dağıtım sonrasında EM algoritmasındaki parçacık modeline göre algılayıcıların yüklerinin hesaplanabilmesi için öncelikle her bir algılayıcının mevcut konumu esas alınarak Denklem (3,12)'ye göre uygunluk fonksiyonu hesaplanır.

$$f(x_i) = \sum_{k=1}^{n_u} x_i^k * (u_k - l_k) \quad , i = 1, \dots, N_{mobil} \quad (3,12)$$

Verilen denklemde  $f(x_i)$   $i$ 'nci algılayıcının uygunluk fonksiyon değerini,  $x_i^k$  ise  $i$ 'nci algılayıcının  $k$ 'nci boyutunun çözüm uzayındaki koordinat değerini gösterir.

(6): **while**  $iter \leq N_{max-iter}$

(7): *Algılayıcıların yükünü ( $q$ ) hesapla*

EM algoritmasının parçacık modeli esas alınarak algılayıcılar arasındaki itme ve çekme kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle alandaki her bir algılayıcının yük değerleri Denklem (2,5) kullanılarak *Algoritma 3*'e göre hesaplanır.

(8): *Optimum konuma yerleşen algılayıcıları tespit et*

Hem rastgele dağıtım sonrası hem de EM tabanlı dağıtım algoritmasının mobil algılayıcılara uygulanması sonrasında optimum konuma yerleşen mobil algılayıcılar geliştirilen OSDA-EM ile *Algoritma 6* tarafından tespit edilir.

(9): *Optimum olmayan algılayıcıların bileşke kuvvetini hesapla*

Optimum konumda olmadığı *Algoritma 6* tarafından tespit edilen her bir mobil algılayıcıya alandaki tüm algılayıcılar tarafından uygulanan kuvvetlerin toplamı alınarak optimum olmayan algılayıcıların bileşke kuvveti Denklem (2,6)'ya göre *Algoritma 4* tarafından hesaplanır. OSDA-EM'de optimum olan algılayıcıların bileşke kuvvetini hesaplamaya gerek yoktur. Çünkü bir sonraki algoritma adımı olan 11. adımda açıklanacağı üzere, algılayıcılar optimum konuma yerleştikten sonra kendi konumlarını bir daha değiştirmezler.

(10): *Optimum olmayan algılayıcıların konumlarını güncelle*

İlgili alanda optimum konumda olmadığı tespit edilen her bir mobil algılayıcı kendisine uygulanan bileşke kuvvetin yönünde Denklem (2,7)'ye göre hareket ederek *Algoritma 5*'e göre konum güncellemesi yapılır.

(11):  $iter = iter + 1$

(12): ***end while***

(13): *Çözüm uzayındaki tüm Grid noktalarının kapsanmasını bul*

İkili Tarama Modeli ile dinamik dağıtımı yapılan mobil algılayıcıların kapsadığı Grid noktaların etkin kapsanma durumu Denklem (3,4) ile hesaplanır.

(14): *İlgili alanın toplam kapsanma oranını hesapla*

Çalıştırılan bağımsız her bir uygulamadaki tanımlı olan maksimum iterasyon sayısına ulaşıldıktan sonra Denklem (3,5) ile ilgili alanın  $TKO_{ikili}$  hesaplanır.

(15):  $run = run + 1$

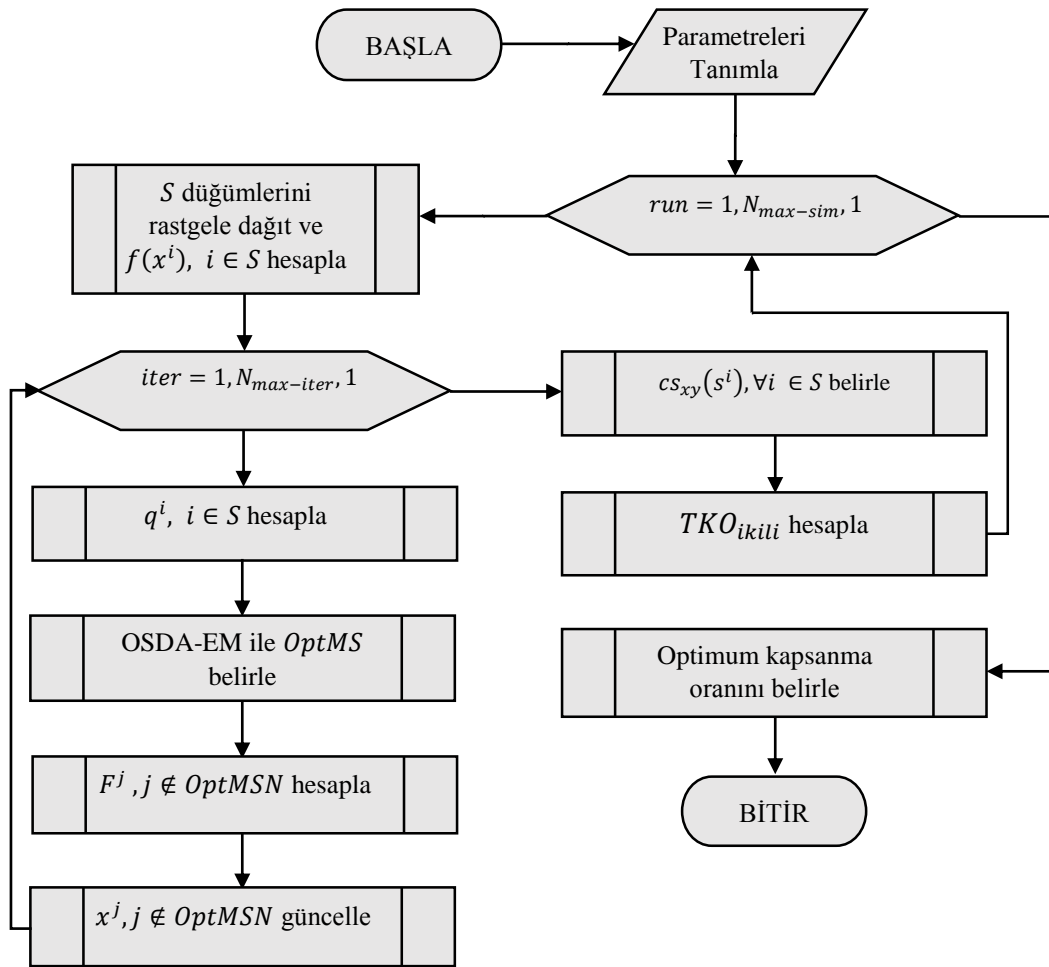
(16): ***end while***



(17): Uygulamalardaki toplam kapsanma oranlarının ortalamasını hesapla

Her biri bağımsız olan uygulamaların çalıştırılması sonucunda; alanın hesaplanan toplam kapsanma oranlarının ortalaması alınarak İkili Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda ulaşılan optimum kapsanma oranları belirlenir.

OSDA-EM ile tüm mobil algılayıcıların optimum dinamik dağıtımlarını yapmak için tasarlanan *Algoritma 7*'nin akış diyagramı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Tasarlanan *Algoritma 7*'nin akış diyagramı

### 3.6. Olasılıksal Tarama Modeli ile OSDA-EM'nin Dinamik Dağıtımına Uygulanması

Bu tez çalışmasında, geliştirilen OSDA-EM'nin ilgili alanda hem mobil hem de statik algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanması durumunda Olasılıksal Tarama Modeli ile optimum çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla; ilgili alanda ayrıca statik algılayıcılarında bulunduğu ve sadece mobil algılayıcıların etkin dinamik dağıtımını Olasılıksal Tarama Modeli ile gerçekleştirmek için geliştirilen OSDA-EM'nin algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

**Algoritma 8:** Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak sadece mobil algılayıcıların EM algoritması ile dağıtımını sonrasında OSDA-EM tarafından dinamik dağıtımının gerçekleştirilmesi ve alanın kapsama oranının hesabı [68].

(1): *Tanımla*

Öncelikle problemin çözümü için algoritmada kullanılacak olan parametreler tanımlanır. Bu parametreler; algılayıcı tarama yarıçapı, algılayıcının belirsiz tarama yarıçapı, ölçüm parametreleri ( $\lambda$  ve  $\beta$ ), optimum üst ve alt sınır mesafeleri, optimum algılayıcıya maksimum yakınsama mesafesi, kapsama oranının eşik değeri ( $c_{th}$ ), mobil algılayıcıların sayısı, statik algılayıcıların sayısı ( $N_{statik}$ ), çözüm uzayının boyutu, çözüm uzayının üst ve alt sınır koordinatları, algılayıcı alanın toplam boyutu, maksimum iterasyon sayısı, maksimum uygulama sayısı.

(2):  $run = 1$

(3): **while**  $run \leq N_{max-sim}$

(4):  $iter = 1$

(5): *Mobil ve statik algılayıcıları ilgili alanda rastgele olarak dağıt ve uygunluk fonksiyon ( $f_x$ ) değerlerini hesapla*

Mobil ve statik algılayıcılardan oluşan popülasyonun ilgili alandaki rastgele dağıtımını *Algoritma 2* tarafından gerçekleştirilir. Her iterasyon boyunca mevcut konumu güncellenen mobil algılayıcıların ve ilk dağıtım sonrası konumu değişmeyen statik algılayıcıların EM algoritmasındaki parçacık modeline göre yüklerinin hesaplanabilmesi için öncelikle her bir algılayıcının mevcut konumu esas alınarak Denklem (3,13)'e göre uygunluk fonksiyonu hesaplanır.

$$f(x_i) = \sum_{k=1}^{n_u} x_i^k * (u_k - l_k) \quad , i = 1, \dots, N_{mobil} + N_{statik} \quad (3,13)$$

Verilen denklemde,  $f(x_i)$   $i$ 'nci algılayıcının uygunluk fonksiyon değerini,  $x_i^k$  ise  $i$ 'nci algılayıcının  $k$ 'ncü boyutunun çözüm uzayındaki koordinat değerini gösterir.

(6): **while**  $iter \leq N_{max-iter}$

(7): *Algılayıcıların yükünü (q) hesapla*

EM algoritmasının parçacık modeli esas alınarak algılayıcılar arasındaki itme ve çekme kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle alandaki her bir algılayıcının yük değerleri Denklem (2,5)'e göre *Algoritma 3* kullanılarak hesaplanır.

(8): *Optimum konuma yerleşen algılayıcıları tespit et*

Hem rastgele dağıtım sonrası hem de EM tabanlı dağıtım algoritmasının sadece mobil algılayıcılara uygulanması sonrasında optimum konuma yerleşen mobil algılayıcılar geliştirilen OSDA-EM ile *Algoritma 6* tarafından tespit edilir.

(9): *Optimum olmayan mobil algılayıcıların bileşke kuvvetini hesapla*

Optimum konumda olmadığı *Algoritma 6* tarafından tespit edilen her bir mobil algılayıcıya alandaki tüm algılayıcılar tarafından uygulanan kuvvetlerin toplamı alınarak, optimum olmayan algılayıcıların bileşke kuvveti Denklem (2,6)'ya göre *Algoritma 4* tarafından hesaplanır. OSDA-EM ile algılayıcıların dinamik dağıtımı sonrasında alandaki optimum olan algılayıcıların ve tüm statik algılayıcıların bileşke kuvvetini hesaplamaya gerek yoktur. Çünkü bir sonraki algoritma adımı olan *11. adım* da açıklanacağı üzere, mobil algılayıcılar optimum konuma yerleştikten sonra ve çalışma özelliği gereği statik olan algılayıcılar kendi konumlarını değiştirmezler.

(10): *Optimum olmayan mobil algılayıcıların konumlarını güncelle*

İlgili alanda optimum konumda olmadığı tespit edilen her bir mobil algılayıcı Denklem (2,7) ile kendisine uygulanan bileşke kuvvetin yönünde hareket edip *Algoritma 5* tarafından yeni konumuna taşınarak konum güncellemesi yapılır.

(11):  $iter = iter + 1$

(12): **end while**

(13): *Çözüm uzayındaki tüm Grid noktalarının TO değerini hesapla*

Olasılıksal Tarama Modeli ile mobil ve statik algılayıcılar tarafından kapsanan Grid noktalarının TO değeri Denklem (3,6–3,9) kullanılarak hesaplanır.

(14): *Tanımlanan eşik değerine göre Grid noktalarının etkin kapsanma durumunu hesapla*

Algılayıcı alandaki her bir Grid noktasının hesaplanan TO değeri, tanımlanan  $c_{th}$  değeri ile karşılaştırılıp, Denklem (3,10)'a göre bu noktaların etkin kapsanma durumları hesaplanır.

(15): *İlgili alanın toplam kapsanma oranını hesapla*

Çalıştırılan her bir bağımsız uygulamada tanımlanan maksimum iterasyon sayısına ulaşıldıktan sonra ilgili alanın  $TKO_{olasılık}$ , Denklem (3,11) ile hesaplanır.

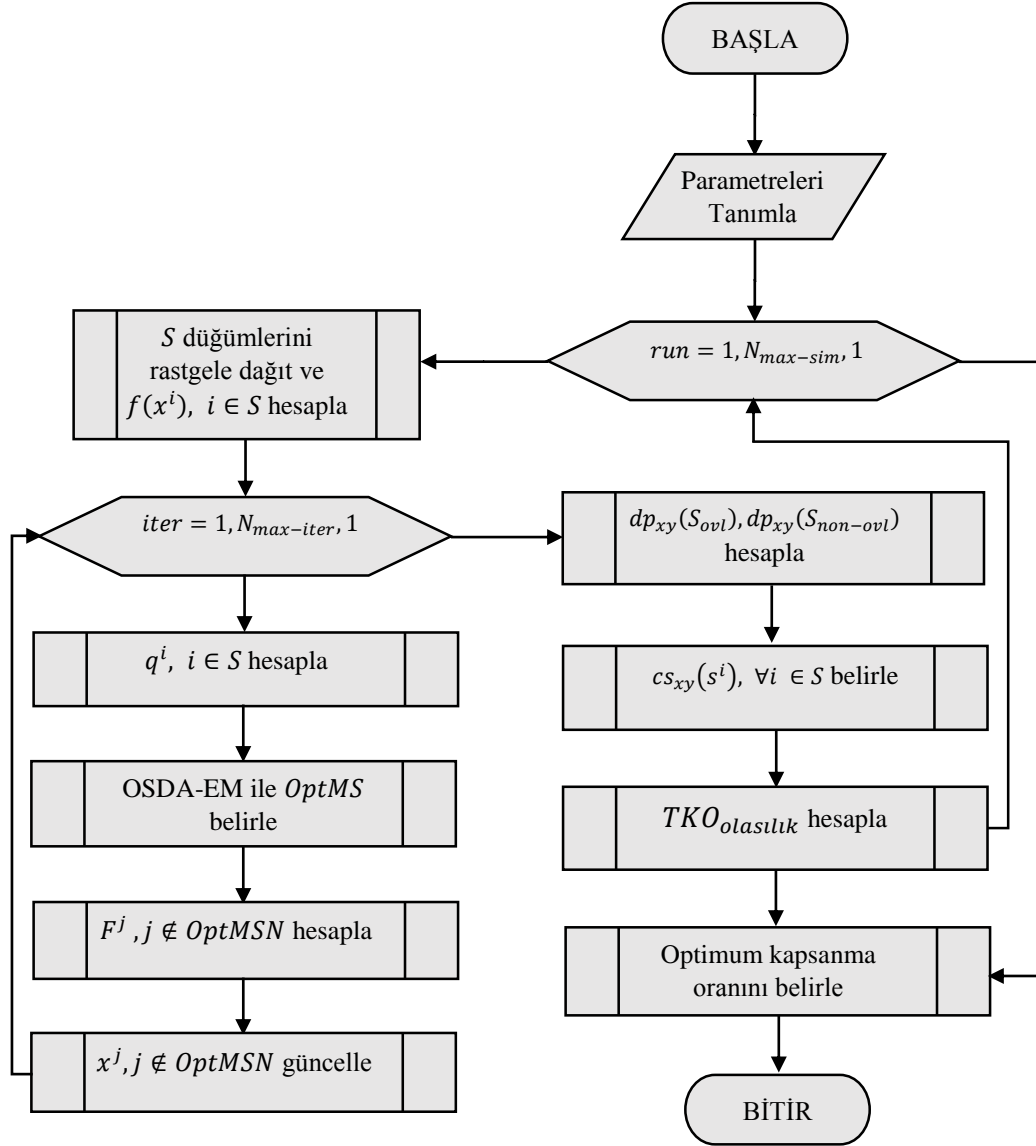
(16):  $run = run + 1$

(17): ***end while***

(18): *Uygulamalardaki toplam kapsanma oranlarının ortalamasını hesapla*

Her biri bağımsız olan uygulamaların çalıştırılması sonucunda; alandaki hesaplanan toplam kapsanma oranlarının ortalaması alınarak, Olasılıksal Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda ulaşılan optimum kapsanma oranı belirlenir.

OSDA-EM ile Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak sadece alandaki mobil algılayıcıların optimum dinamik dağıtımlarını yapmak için tasarlanan *Algoritma 8*'in akış diyagramı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Tasarlanan *Algoritma 8*'nin akış diyagramı

## 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Orijinal ABC ve PSO Algoritmaları için Parametre Seçimi

Geliştirilen OSDA-EM'nin etkinliğinin belirlenebilmesi için orijinal ABC ve PSO algoritmaları ile karşılaştırmalarının yapıldığı bu bölümde, öncelikle karşılaştırılan algoritmaların parametrelerinin tespit edilmesi gerekir. Bu amaçla; literatürde çalışılan ve algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanmasında temel alınan orijinal ABC ve PSO algoritmalarında [20-22] kullanılan parametreler, bu tez çalışmasındaki karşılaştırılan algoritmalar için de kullanılmıştır.

Algılayıcıların dinamik dağıtımında PSO algoritmasının [70] ilk versiyonu uygulanmıştır. PSO'da her birey parçacık olarak isimlendirilir. Her parçacık ABC algoritmasındaki yiyecek kaynağına benzer  $l$  boyutlu bir uzaya sahiptir. Her parçacık rastgele olarak dağıtılmakta ve parçacıkların güncelleme işlemi iki aşama ile yapılmaktadır. İlk aşamada Denklem (4,1) [22]'de verildiği gibi parçacık hızı hesaplanmaktadır.

$$v_{il} = v_{il} + c_1 * rand() * (p_{il} - x_{il}) + c_2 * rand() * (p_{gl} - x_{il}) \quad (4,1)$$

İkinci aşama ise,  $x_{il} = x_{il} + v_{il}$  eşitliği kullanılarak alandaki parçacıkların konumu güncellenmektedir.  $rand()$  fonksiyonu rastgele olarak (0,1) arasında sayı üretmektedir.  $p_{il}$   $i$ 'nci parçacığın en iyi konumu,  $p_{gl}$   $i$ 'nci parçacığa komşu olan parçacıkların en iyi konumunu göstermektedir.  $x_{il}$   $i$ 'nci parçacığın konumunu,  $v_{il}$  ise onun hızını göstermektedir.  $c_1$  ve  $c_2$ , PSO algoritmasının [12,70-71] performansını belirleyen sabit pozitif parametrelerdir ve Denklem (4,2) kullanılarak hesaplanmıştır [22].

$$\begin{aligned} c_1 &= Max_{c_1} - (Max_{c_1} - Min_{c_1}) * \frac{t}{t^{max}} \\ c_2 &= Max_{c_2} - (Max_{c_2} - Min_{c_2}) * \frac{t}{t^{max}} \end{aligned} \quad (4,2)$$

Verilen denklemde  $Max_{c_1}, Min_{c_1}, Max_{c_2}, Min_{c_2}$  algoritmanın performansını etkileyen parametrelerdir.  $t$  iterasyon süresini,  $t^{max}$  ise maximum iterasyon süresini gösterir. Yapılan deneyler sonucunda; PSO algoritması için en iyi performansı sağlayan  $Min_{c_1}$  ve  $Min_{c_2}$  parametreleri 1 olarak,  $Max_{c_1}$  ve  $Max_{c_2}$  parametreleri ise

3.40 olarak tanımlanmıştır. Ayrıca PSO algoritmasının sürü boyutu 20 olarak belirlenmiştir [22].

Orijinal ABC algoritmasının [21] kontrol parametresi olan koloni boyutu ( $cs$ ) 20, keşif için sınır parametresi olan  $l$  100 olarak tanımlanmıştır. ABC ve PSO algoritmalarındaki algılayıcı düğümler için  $r = 7$  metre ve  $r_e = 3.5$  metre olarak tanımlanmıştır. Orijinal ABC ve PSO algoritmalarının uygulandığı dinamik dağıtımda, İkili Tarama Modeli ile maksimum 10000 iterasyondan oluşan 20 Monte Carlo uygulaması [22], Olasılıksal Tarama Modelinde ise her biri 1000 iterasyondan oluşan 30 Monte Carlo uygulaması [21] çalıştırılmıştır.

## 4.2. İkili Tarama Modeli için OSDA-EM ile Örnek Çalışma Uygulamaları

Bu tez çalışmasında, ilgili alandaki mobil algılayıcıların optimum olarak dinamik dağıtımlarının yapılabilmesi amacıyla geliştirilen OSDA-EM'de en uygun parametrelerin belirlenmesi için örnek çalışmalar yapılmıştır. Bu örnek çalışmalarda; 2 boyutlu ve 10201 adet Grid noktasından oluşan 10000 m<sup>2</sup>'lik çözüm uzayında 100 adet mobil algılayıcının dinamik dağıtımını yapılarak birbirinden bağımsız olan 10 uygulama çalıştırılmıştır. Her bir algılayıcının  $r = 7$  metre,  $com_r = 14$  metre olarak tanımlanmıştır. Her örnek çalışmada iki senaryo planlaması yapılmış ve algılayıcıların optimum olma mesafelerini belirleyen  $OptLBD, OptUBD, MCD$  parametreleri sırasıyla *Senaryo 1* için  $\sqrt{3}r, \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$  ve *Senaryo 2* için  $\sqrt{3}r, \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$  olarak tanımlanmıştır. *Örnek Çalışma 3* hariç diğer örnek çalışmalarda  $OptNSN = 1$  olarak tanımlanmıştır.

### 4.2.1. Örnek çalışma 1: iterasyon sayısına göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar

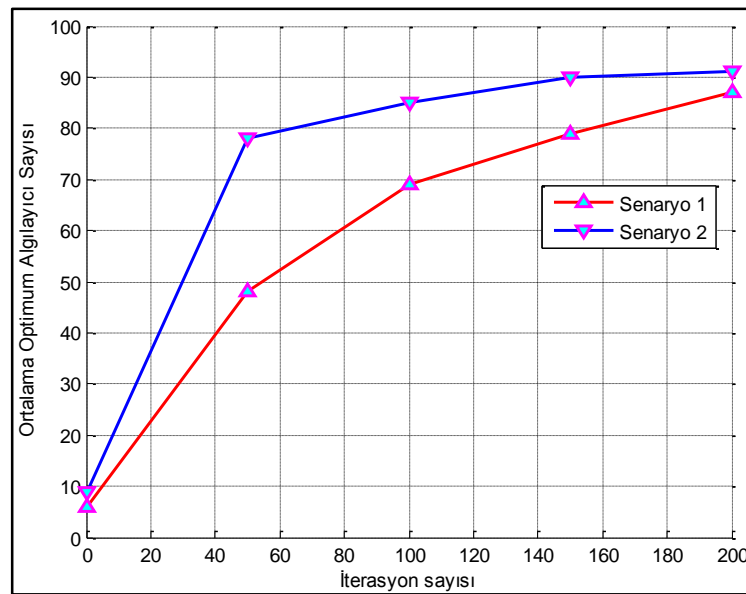
Bu örnek çalışmada, alandaki 100 mobil algılayıcının dinamik dağıtımlarının geliştirilen OSDA-EM'deki her iki senaryoda tanımlanan uzaklık parametreleri ile yapılması sonucunda; iterasyon sayısına göre optimum konuma yerleşen algılayıcı sayıları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Her iki senaryoda iterasyon sayısı arttırıldıkça ortalama  $OptMSN$ 'nin de kararlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca *Senaryo 2*'de daha fazla  $OptMSN$ 'ye ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni; *Senaryo 1* için tanımlanan  $OptUBD$ 'nin *Senaryo 2*'de 12.5

metreden 13.1 metreye artırılması durumunda yakınsama aralığı artacağı için daha fazla sayıda mobil algılayıcı optimum konuma yerleşmiş olur.

Çizelge 4.1. Uygulamalardaki senaryolar için çalıştırılan iterasyonlar boyunca ulaşılan *OptMSN* ve ortalama çalışma zamanı sonuçları

Senaryolar	<i>OptLBD – OptUBD</i> Aralığı ve <i>MCD</i>	İterasyon Sayısı	Ortalama <i>OptMSN</i>	Ortalama Çalışma zamanı (saniye)
<b>Senaryo 1</b>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$ (12.1– 12.5, 7 metre)	50	48	21.77
		100	69	37.46
		150	79	48.22
		200	87	49.08
<b>Senaryo 2</b>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$ (12.1– 13.1, 7.98 metre)	50	78	14.63
		100	85	22.89
		150	90	28.51
		<b>200</b>	<b>91</b>	<b>33.74</b>

Çizelge 4.1’deki sonuçlara göre, optimum konuma yerleşen algılayıcı sayısı bakımından en iyi çözümü sunan *Senaryo 2* esas alındığında, rastgele dağıtımı yapılan 100 adet mobil algılayıcıdan ortalama olarak sadece 9 algılayıcı optimum konuma yerleşirken, geliştirilen OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtımda 200 iterasyonun sonunda ortalama 91 algılayıcı optimum konuma yerleşmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. İterasyon sayısına göre senaryolardaki ortalama *OptMSN* değişim grafiği



Şekil 4.1’de gösterilen grafiğe göre, uygulamaların çalıştırılma süreleri karşılaştırıldığında aynı iterasyon sayılarında *Senaryo 2* ile daha iyi bir çalışma zamanı elde edilmiştir. Sonuç olarak; bu örnek çalışmadaki *Senaryo 2* hem *OptMSN* hem de algılayıcıların yakınsama hızı (çalışma zamanı) bakımından optimum bir çözüm sunmuştur.

#### 4.2.2. Örnek çalışma 2: iterasyon sayısına göre alanın kapsanma oranları

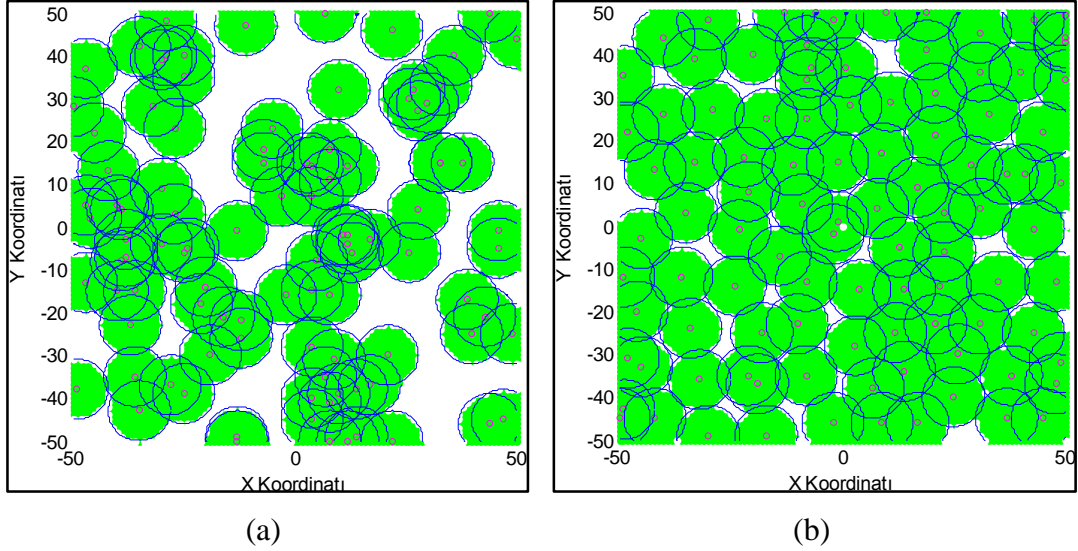
Bu örnek çalışmada, her iki senaryoda tanımlanan uzaklık parametrelerine ve iterasyon sayılarına göre, alandaki 100 adet mobil algılayıcının dinamik dağıtımı geliştirilen OSDA-EM ile yapılmış ve ilgili alanın ortalama kapsanma oranları hesaplanarak Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Uygulamalardaki senaryolar için çalıştırılan iterasyonlar boyunca elde edilen ortalama kapsanma oranları

<i>Senaryolar</i>	<i>OptLBD – OptUBD Aralığı ve MCD</i>	<i>İterasyon Sayısı</i>	<i>Ortalama Kapsanma Oranı (%)</i>
<i>Senaryo 1</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$ (12.1– 12.5, 7 metre)	50	75.40
		100	80.25
		150	86.04
		200	90.49
<i>Senaryo 2</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$ (12.1– 13.1, 7.98 metre)	50	90.06
		100	93.76
		150	94.93
		<b>200</b>	<b>95.56</b>

Çizelge 4.2’de gösterilen sonuçlara göre, *Senaryo 2*’de daha iyi kapsanma oranlarına ulaşılmıştır. Bu durumun birinci sebebi, *Örnek Çalışma 1*’de vurgulandığı üzere; *Senaryo 2* için tanımlanan uzaklık parametreleri diğer senaryoya göre daha fazla sayıda algılayıcının optimum konuma yerleşmesini sağladığından dolayı ilgili alan daha yüksek bir oranda kapsanmıştır. Diğer sebebi ise, *Senaryo 2* için tanımlanan *MCD*’nin artırılması sonucunda; optimum olan algılayıcıların birbirlerine daha fazla yakınsamaması sağlanmış ve bu durumda ilgili alanın daha yüksek bir oranda kapsanması başarılmıştır.

100 mobil algılayıcı rastgele olarak dağıtıldığında ilgili alan %74.48 oranında kapsanarak başlangıçtaki konumları Şekil 4.2a’da gösterilmiş, bu örnek çalışmadaki *Senaryo 2* esas alınarak 200 iterasyon çalıştırıldığında ise ilgili alan %95.56 oranında kapsanarak optimum konumları Şekil 4.2b’de gösterilmiştir. Sonuç olarak; bu örnek çalışmada *Senaryo 2* ilgili alanın kapsanma oranına göre optimum bir çözüm sunmuştur.



Şekil 4.2. Algılayıcıların (a) rastgele dağılımı , (b) 200 iterasyon ile optimum dağılımı

#### 4.2.3. Örnek çalışma 3: *OptNSN*'ye göre alanın kapsanma oranları

Bu örnek çalışmada, her iki senaryoda tanımlanan uzaklık parametreleri ve *OptNSN* esas alınıp alandaki 100 mobil algılayıcının dinamik dağıtımını geliştirilen OSDA-EM ile yapılarak 100 iterasyondan oluşan bağımsız uygulamalar çalıştırılmıştır. Alandaki herhangi bir algılayıcının OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtım sonrasında optimum konuma yerleşebilmesi için *Algoritma 6*'da tanımlanan şartlardan bir diğeri de bu algılayıcının en az bir optimum algılayıcı ( $OptNSN \geq 1$ ) ile komşuluğunun olmasıdır. Dolayısıyla bu örnek çalışmadaki *OptNSN* esas alınarak ilgili alandaki *OptMSN* ve alanın kapsanma oranları hesaplanmış ve elde edilen uygulama sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Her senaryodaki tanımlı olan uzaklık ve *OptNSN* parametrelerine göre, çalıştırılan 100 iterasyon için elde edilen uygulama sonuçları

<i>Senaryolar</i>	<i>OptLBD – OptUBD Aralığı ve MCD</i>	<i>OptNSN</i>	<i>Ortalama OptMSN</i>	<i>Ortalama Kapsama Oranı (%)</i>	<i>Ortalama Çalışma zamanı (saniye)</i>
<b><i>Senaryo 1</i></b>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$ (12.1–12.5, 7 metre)	$\geq 1$	71	81.88	35.78
		$\geq 2$	6	64.39	47.34
		$\geq 3$	5	63.33	47.41
		$\geq 4$	3	63.01	47.43
<b><i>Senaryo 2</i></b>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$ (12.1–13.1, 7.98 metre)	$\geq 1$	<b>85</b>	<b>92.15</b>	<b>23.39</b>
		$\geq 2$	17	67.28	46.62
		$\geq 3$	7	63.08	47.21
		$\geq 4$	7	63.89	47.44

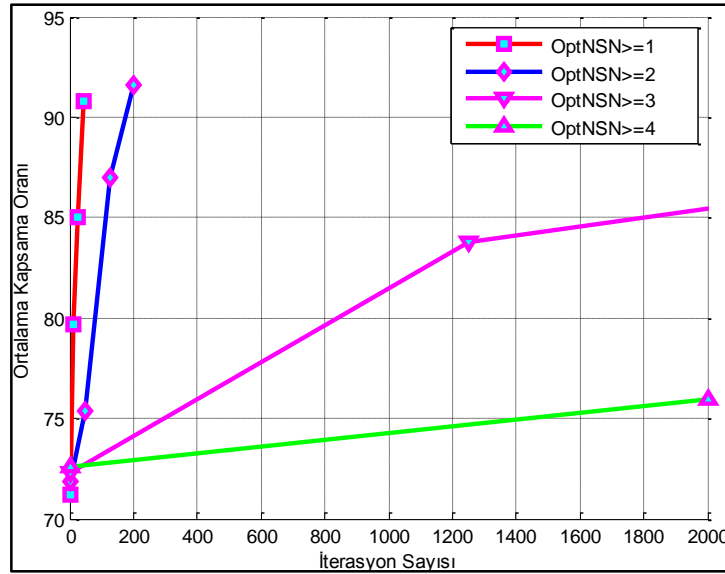
Çizelge 4.3'teki sonuçlara göre, *OptNSN*'yi artırdıkça her iki senaryoda elde edilen *OptMSN* ve ortalama kapsanma oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni; her iki senaryo 100 iterasyon ile çalıştırılması durumunda, *OptNSN*'nin artırılması her bir algılayıcının optimum konuma yerleşmesini zorlaştırmıştır. Dolayısıyla daha az algılayıcı optimum konuma yerleşeceği için ilgili alanın kapsanma oranında daha düşük olmuştur.

Çizelge 4.3'de belirtildiği üzere; daha iyi sonuç veren *Senaryo 2*'de *OptNSN*'nin ardışık olarak artırılması durumunda ilgili alanın hesaplanan ortalama kapsanma oranını düşürmeden algılayıcıları optimum konuma yerleştirebilmek için çalıştırılması gereken iterasyon sayıları hesaplanarak Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, *OptNSN*'yi artırdıkça istenen sayıda *OptMSN* elde edilebilmesi için çalıştırılması gereken iterasyon sayısının kararlı bir şekilde artmış olması aslında Çizelge 4.3'te tespit edilen ve alanın kapsanma oranındaki düşüşün nedenini ortaya çıkarmıştır. İterasyon sayısı artırılmasına rağmen ortalama olarak aynı *OptMSN* ve birbirine yakın sayılabilecek kapsanma oranlarına ulaşıldığı Çizelge 4.4'te gösterilen uygulama sonuçlarından tespit edilmiştir. Fakat uygulamanın ortalama çalışma zamanının da gittikçe artmış olması aslında algılayıcıların birbirine çok daha yavaş bir şekilde yakınsamalarına neden olur.

Çizelge 4.4. *OptNSN* ve *OptMSN* parametresi esas alınarak çalıştırılan uygulamalarda ulaşılan iterasyon sayısının alanın kapsanma oranına olan etkisi

<i>OptNSN</i>	Ortalama <i>OptMSN</i>	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama Kapsama Oranı (%)	Ortalama Çalışma zamanı (saniye)
$\geq 1$	80	<b>56</b>	90.29	<b>15.84</b>
$\geq 2$	80	200	91.58	36.48
$\geq 3$	80	4000	<b>92.83</b>	435.68
$\geq 4$	80	5443	86.50	701.66

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de gösterilen uygulama sonuçları ile Şekil 4.3’te gösterilen grafiğe göre, bu örnek çalışmadaki *OptNSN*  $\geq 1$  tanımlanması durumunda, daha az sayıda iterasyon ile uygulama çalışarak diğer parametrelere göre yakın değerlerde kapsanma oranı elde edilmiş ve dolayısıyla uygulama daha kısa sürede çalıştırılarak algılayıcıların daha hızlı yakınsamaları sağlanmıştır. Sonuç olarak; bu örnek çalışmada *Senaryo 2*’deki *OptNSN*  $\geq 1$  olarak tanımlanması durumunda ilgili alanda optimum çözüme ulaşılmıştır.



Şekil 4.3. *OptNSN* esas alınarak alanın kapsanma oranlarının değişim grafiği

#### 4.2.4. Örnek çalışma 4: algılayıcıların enerji tüketimleri açısından toplam yer değiştirme mesafeleri

Algılayıcıların enerji tüketimlerinin minimize edilerek yaşam sürelerinin artırılması enerji verimliliği açısından optimize edilmesi gereken bir konudur. Çünkü

algılayıcıların sadece sınırlı bir miktarda enerjileri bulunmaktadır. Algılayıcıların başlangıçtaki rastgele konumları ve dinamik dağıtım sonrasındaki hedef konumları esas alınarak toplam yer değiştirme (hareket) mesafeleri hesaplanır. Algılayıcıların ilgili alandaki konum değişikliği mesafesi ne kadar fazla olursa o kadar fazla da enerji tüketimi olacaktır. Bu nedenle algılayıcıların alan içinde dinamik dağıtımları yapılırken daha az konum değiştirerek optimum konuma yerleşmeleri algılayıcıların enerji tüketimlerini optimize ederek KAA'daki yaşam sürelerinin uzatılmasına imkan sağlar [22].

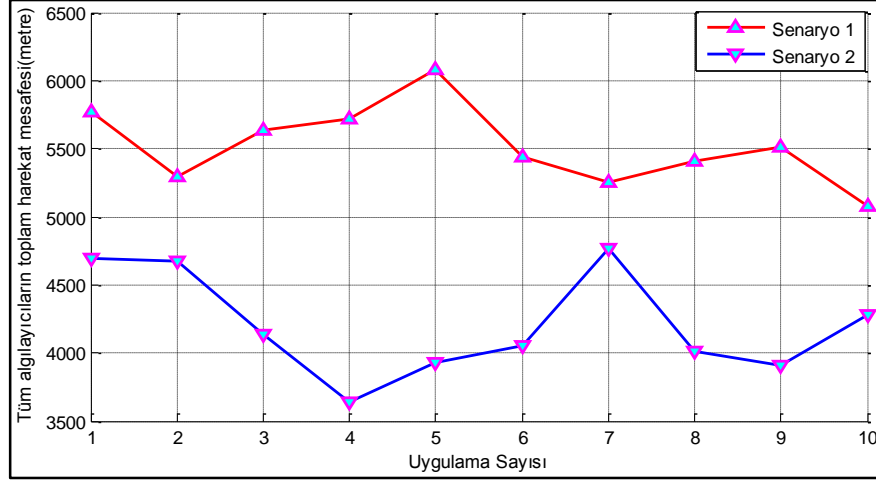
Bu örnek çalışmada, OSDA-EM'de tanımlanan her iki senaryo ile dinamik dağıtım yapılan algılayıcıların her bir uygulamadaki toplam hareket mesafelerinin karşılaştırması yapılarak optimum enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Her iki senaryoda 100 iterasyon çalıştırılarak algılayıcıların toplam hareket mesafeleri hesaplanmış ve elde edilen uygulama sonuçları Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Her biri bağımsız olan uygulamalar ile alandaki tüm algılayıcıların toplam hareket mesafeleri

Senaryolar	OptLBD – OptUBD Aralığı ve MCD	Toplam Hareket Mesafeleri (metre)				
		Uygulama 1	Uygulama 2	Uygulama 3	Uygulama 4	Uygulama 5
Senaryo 1	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$ (12.1–12.5, 7 metre)	Uygulama 6	Uygulama 7	Uygulama 8	Uygulama 9	Uygulama 10
		5770.4	5296.2	5632.8	5723.7	6079.8
		5434.8	5254.4	5412.0	5507.9	5077.4
Senaryo 2	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$ (12.1–13.1, 7.98 metre)	Uygulama 1	Uygulama 2	Uygulama 3	Uygulama 4	Uygulama 5
		<b>4693.3</b>	<b>4669.1</b>	<b>4131.2</b>	<b>3637.2</b>	<b>3932.6</b>
		Uygulama 6	Uygulama 7	Uygulama 8	Uygulama 9	Uygulama 10
		<b>4050.9</b>	<b>4764.3</b>	<b>4009.4</b>	<b>3907.5</b>	<b>4279.8</b>

Çizelge 4.5'deki sonuçlara göre, Senaryo 1'de ortalama hareket mesafesi 5518.9 metre iken, Senaryo 2'de bu mesafe 4207.5 metredir. Dolayısıyla Senaryo 2'de tanımlanan uzaklık parametreleri esas alındığında, çalıştırılan 10 bağımsız uygulama

ile algılayıcıların ortalama hareket mesafeleri daha az olduğundan, dinamik dağıtım yapılan algılayıcıların *Senaryo 2*'deki enerji tüketimlerinin diğerine göre daha az olduğu söylenebilir. Şekil 4.4'teki grafikte gösterildiği üzere, algılayıcıların ortalama hareket mesafeleri esas alındığında enerji tüketimleri açısından *Senaryo 2* optimum çözümü sunmuştur.



Şekil 4.4. Her bir uygulamaya göre alandaki tüm algılayıcıların toplam hareket mesafelerinin değişim grafiği

#### 4.2.5. Örnek çalışma 5: kapsama alanları çakışan algılayıcıların $k$ -kapsama derecesi

Algılayıcıların dinamik dağıtımları sonrasında herhangi bir Grid noktasının en az 2 veya daha fazla algılayıcı tarafından kapsanması durumunda, bu Grid noktası algılayıcıların kapsama alanlarının çakıştığı alanda bulunarak  $k$ -kapsama derecesinde (degree of  $k$ -coverage) bir kapsama problemi ortaya çıkar. Bu problemdeki  $k$  parametresi herhangi bir hedefi kapsayan algılayıcı sayısını belirtir. Eğer bu hedef 2'den fazla ( $k \geq 2$ ) algılayıcının kapsama alanı içinde bulunur ise, hedefin farklı algılayıcılar tarafından kapsandığı ve toplam enerji tüketimi açısından bu hedefin diğer algılayıcı düğümler tarafından da kapsanması ile algılayıcıların enerji tüketimlerinin artacağı sonucuna ulaşılır [72-73]. Dolayısıyla algılayıcıların enerji tüketimlerini azaltmanın bir yolu; algılayıcıların  $k$ -kapsama derecesini minimize etmektir. İlgili alandaki Grid noktalarının algılayıcılar tarafından en az  $k$ -kapsama derecesi ile kapsanacak bir şekilde algılayıcı düğümlerinin dinamik dağıtımlarının yapılması KAA'ların optimize edilmesinde önemli bir husustur.

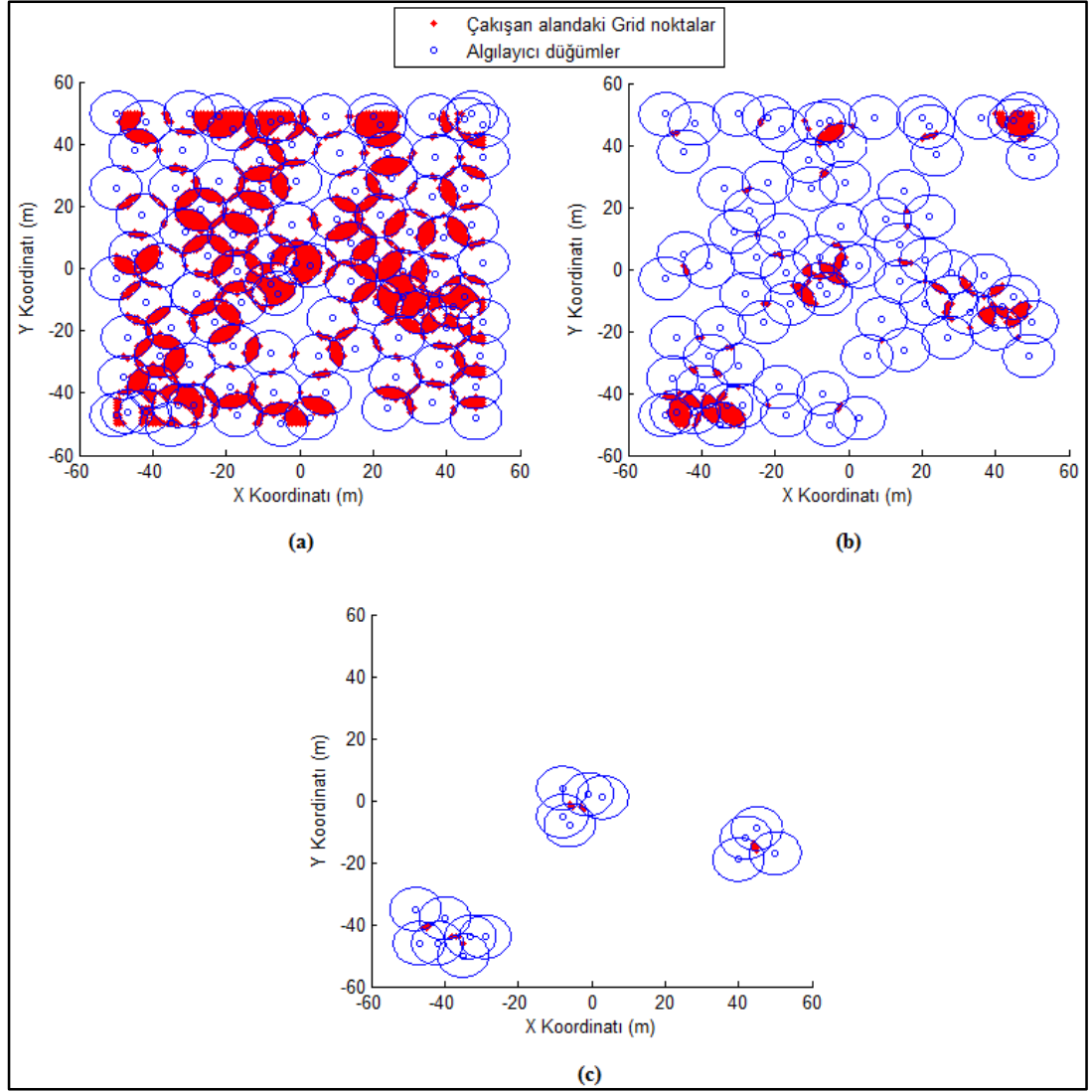
Bu örnek çalışmada, her biri 100 iterasyondan oluşan birbirinden bağımsız 10 uygulama ile tüm mobil algılayıcıların dinamik dağıtımlarının yapılması sonrasında optimum dinamik dağıtımın elde edildiği uygulamada, kapsama alanları çakışan algılayıcıların  $k$ -kapsama dereceleri, çakışan alandaki Grid noktaları sayısı ve kapsama alanları çakışan toplam düğüm sayısı hesaplanarak algılayıcıların dinamik dağıtımını optimum olarak sağlayan *Senaryo* çalışması tespit edilecektir.

Çizelge 4.6. Dinamik dağıtım sonrası  $k$ -kapsama derecesine göre çakışan alanda kapsanan Grid noktası sayısı ve çakışan toplam düğüm sayısı

<i>Senaryolar</i>	<i>OptLBD – OptUBD</i> <i>Aralığı ve MCD</i>	<i>k-kapsama derecesine göre</i> <i>kapsanan Grid sayısı / çakışan düğüm sayısı</i>				
		2	3	4	5	6
<i>Senaryo 1</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.2}r, \sqrt{1}r$ (12.1– 12.5, 7 metre)	2843	608	68	24	7
		/	/	/	/	/
		98	74	24	11	6
<i>Senaryo 2</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{3.5}r, \sqrt{1.3}r$ (12.1– 13.1, 7.98 metre)	<b>2731</b>	<b>438</b>	<b>17</b>		
		/	/	/	<b>0</b>	<b>0</b>
		<b>100</b>	<b>77</b>	<b>16</b>		

Çizelge 4.6'daki sonuçlara göre, *Senaryo 1* ile yapılan uygulamalarda kapsama alanları çakışan algılayıcılar için  $k$ -kapsama en fazla 6'ncı dereceye kadar, *Senaryo 2* için ise en fazla 4'ncü dereceye kadar hesaplanmıştır. Ayrıca her  $k$ -kapsama derecesini oluşturan toplam algılayıcı düğüm sayısı da tespit edilmiştir. İlgili alanda *Senaryo 1* ile yapılan dinamik dağıtımda çakışan Grid sayılarının toplamı 3550, *Senaryo 2*'de ise 3186 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla *Senaryo 2* hem oluşan  $k$ -kapsama derecesi bakımından hem de çakışan alandaki kapsanan Grid sayısı bakımından bu örnek çalışmada optimum çözümü sunmuştur.

*Senaryo 2* ile yapılan uygulamada algılayıcıların  $k$ -kapsama derecesine göre tarama yarıçapları çakışan alandaki Grid noktalarının grafiği Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. (a) 2 algılayıcı, (b) 3 algılayıcı, (c) 4 algılayıcı ile oluşan çakışma alanları ve bu alanlardaki kapsanan Grid noktalar

#### 4.2.6. İdeal ortamdaki uygulamalar ile algoritmaların karşılaştırılması

İlgili alanda algılayıcıların istenilen bölgeye dağılımlarını önleyecek herhangi bir engelin olmadığı, 10201 Grid noktasından oluşan ve  $10000 \text{ m}^2$  ( $100 \times 100$ ) olan ideal bir alanda,  $r = 7$  metre olan 100 adet mobil algılayıcı kullanılmıştır. Önerilen OSDA-EM'nin diğer algoritmalar ile karşılaştırılmasında daha güvenilir sonuçlar elde etmek için  $A$ ,  $N_{mobil}$  ve  $r$  parametre değerleri aynı olması şartıyla 20 bağımsız MATLAB uygulaması çalıştırılarak algılayıcıların dinamik dağıtımı yapılmıştır. Bu ideal ortamda OSDA-EM ile yapılan dağıtımda, Bölüm 4.2'deki her bir örnek çalışmada



uygulanarak optimum sonuçlar veren ve *Senaryo 2*'de tanımlı olan uzaklık parametreleri kullanılmıştır.

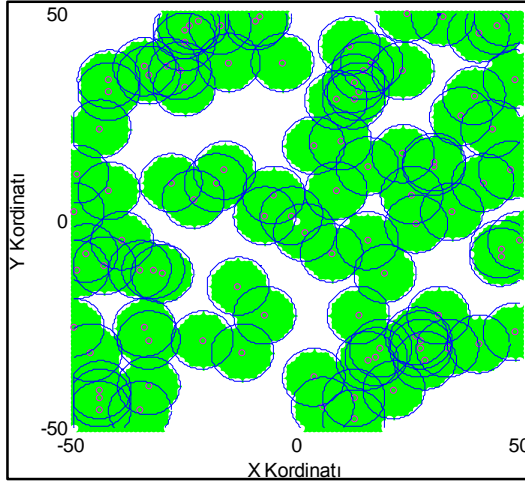
Bu tez çalışmasında, algılayıcıların alandaki optimum dinamik dağıtımı için geliştirilen OSDA-EM ile literatürdeki orijinal ABC ve PSO [22] tabanlı algoritmaların karşılaştırması yapılmıştır. Belirtilen algoritmalarındaki ilk karşılaştırma ölçütü; ilgili alanın kapsanma oranlarıdır. Her bir uygulamadaki algılayıcıların rastgele dağıtımları sonrasında 100, 500, 2000, 5000 ve 10000 iterasyon yapılarak ilgili alanın kapsanma oranları hesaplanmıştır. Karşılaştırılması yapılan orijinal ABC ve PSO algoritmaları ile OSDA-EM [64]'nin uygulama sonuçları hesaplanarak Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Tanımlanan iterasyonlara göre algoritmaların dinamik dağıtımı sonucunda ilgili alanın kapsanma oranları

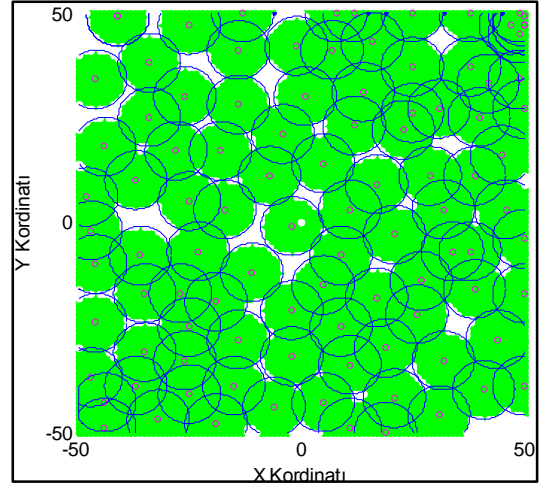
Karşılaştırılan Algoritmalar	İterasyon Sayıları				
	100	500	2000	5000	10000
<b>OSDA-EM</b>	<b>0.9553</b>	<b>0.9812</b>	<b>0.9907</b>	<b>0.9915</b>	<b>0.9960</b>
Orijinal ABC	0.9184	0.9713	0.9826	0.9848	0.9863
PSO	0.7993	0.8097	0.8403	0.9215	0.9431

Çizelge 4.7'deki sonuçlara göre, belirtilen iterasyon aralıklarında algılayıcıların dinamik dağıtımlarının geliştirilen OSDA-EM ile yapılması durumunda, orijinal ABC ve PSO algoritmalarına göre alanın optimum olarak kapsandığı tespit edilmiştir. Ayrıca 100 iterasyon sonunda her üç algoritmadaki ulaşılan kapsanma oranları karşılaştırıldığında, OSDA-EM diğer iki algoritmaya göre daha hızlı bir şekilde algılayıcıların yakınsamasını gerçekleştirdiği ve bunun sonucunda algılayıcıların optimum dağılımlarının kısa sürede sağlandığı tespit edilmiştir. OSDA-EM ile algılayıcıların hızlı bir şekilde yakınsamasının nedeni; *Algoritma 7*'de tanımlandığı üzere dinamik dağıtım yapılan alandaki her bir mobil algılayıcı optimum konuma yerleştikten sonra iterasyonlar boyunca konumunun bir daha değiştirilmemesidir.

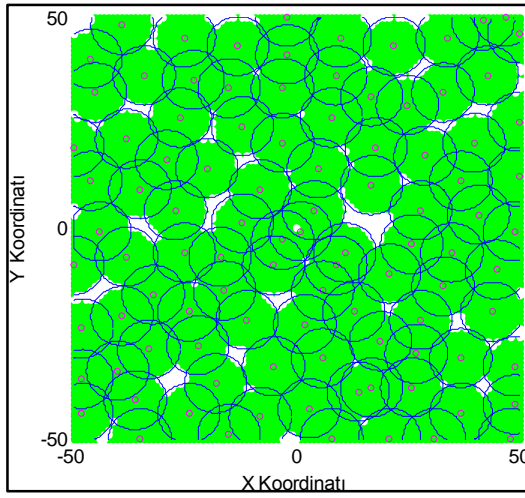
OSDA-EM'nin tanımlanan iterasyonlar ile çalıştırılarak dinamik dağıtım yapılan algılayıcıların optimum konumları Şekil 4.6'daki grafikte gösterilmiştir. Bu şekillerde; pembe düğümler algılayıcı düğümleri, mavi daireler algılayıcıların kapsama aralığını, yeşil renkli alanlar ise kapsanan Grid noktalarını temsil etmiştir.



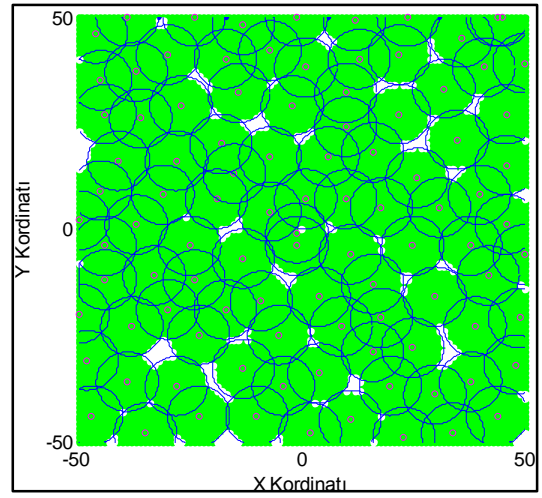
(a)



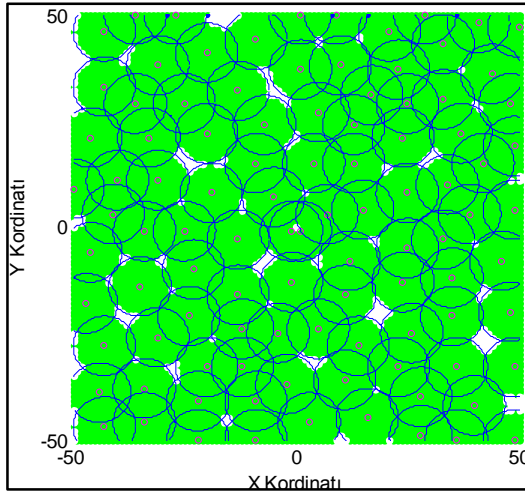
(b)



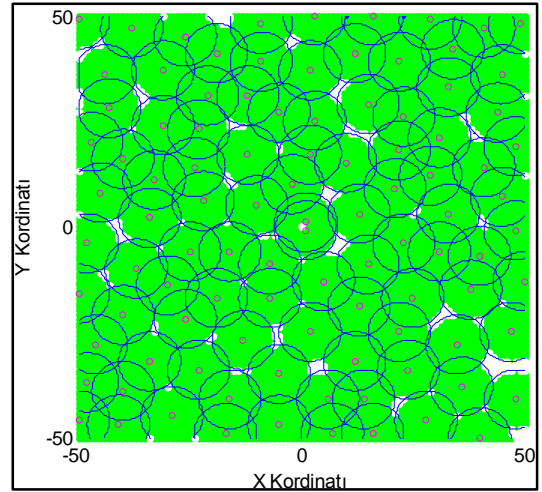
(c)



(d)



(e)

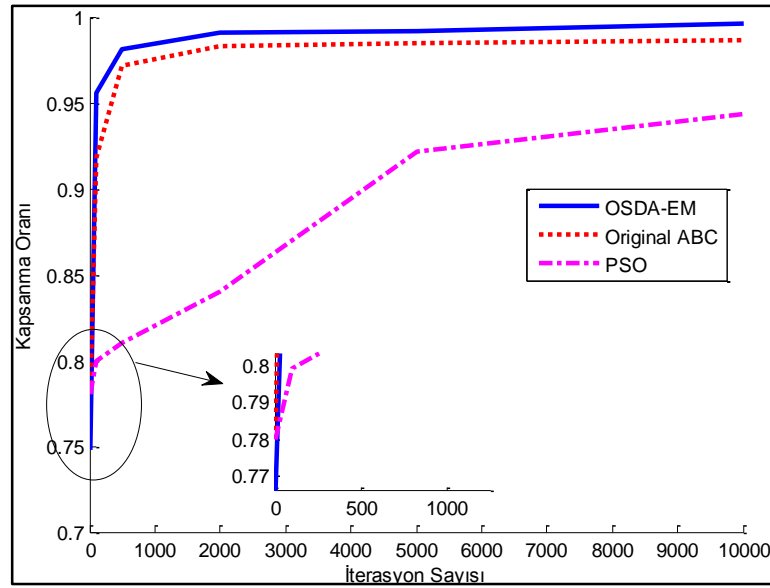


(f)

Şekil 4.6. Algılayıcıların belirtilen iterasyonlar ile dinamik dağıtımları sonrası ilgili alandaki konumları: (a) başlangıç, (b) 100 iterasyon, (c) 500 iterasyon, (d) 2000 iterasyon, (e) 5000 iterasyon, (f) 10000 iterasyon

Geliştirilen OSDA-EM ile orijinal ABC ve PSO tabanlı algılayıcı dağıtım algoritmalarının performansı Şekil 4.7’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı daha güvenilir kılmak için orijinal ABC ve PSO [22] algoritmalarının başlangıçtaki rastgele dağılım oranlarının aynı olması şartıyla, OSDA-EM’nin başlangıçtaki rastgele dağılım oranı diğer karşılaştırılan algoritmalarından daha düşük alınarak %74.75 olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni; OSDA-EM’nin başlangıçtaki rastgele dağıtım oranı daha düşük alınmasına rağmen Çizelge 4.7’de vurgulandığı üzere, algılayıcıların sadece 100 iterasyonda ilgili alanı %95.53 oranında kapsayarak OSDA-EM ile algılayıcıların birbirine daha hızlı bir yakınsama sağladığını göstermektedir.

İlgili alanda çalıştırılan iterasyonlara göre, OSDA-EM tarafından daha hızlı bir yakınsama ile alandaki mobil algılayıcıların dinamik dağıtımının sağlandığı ve elde edilen optimum kapsanma oranlarına göre, OSDA-EM’nin orijinal ABC ve PSO tabanlı dağıtım algoritmalarından daha performanslı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. OSDA-EM, orijinal ABC ve PSO algoritmalarının ilgili alandaki kapsanma oranları grafiği

Belirtilen algoritmalarındaki bir diğer karşılaştırma ölçütü algılayıcıların toplam hareket mesafeleridir. OSDA-EM tarafından *Senaryo 2* esas alınarak 10000 iterasyon yapıldığında algılayıcılar toplam 4779 metre yer değiştirerek ilgili alanı %99.66 oranında optimum olarak kapsar iken, orijinal ABC algoritması [22] tarafından 10000

iterasyon yapıldığında algılayıcılar toplam 5216 metre yer değiştirerek ilgili alanı %98.63 oranında optimum olarak kapsadığı ölçülmüştür. Fakat PSO algoritmasında [22] en kötü kapsama oranı elde edildiği için toplam hareket mesafesi ölçülmemiştir. Dolayısıyla karşılaştırılan algoritmalarındaki toplam hareket mesafeleri esas alındığında, OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtımdaki algılayıcıların toplam hareket mesafesinin diğer algoritmalara göre daha az olmasından dolayı algılayıcıların enerji tüketiminin OSDA-EM ile minimum olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak; İkili Tarama Modeli ile ideal bir ortamda bağımsız 20 uygulama ve 100 mobil algılayıcı kullanılarak gerçekleştirilen dinamik dağıtımda hem ilgili alanın kapsama oranı hem de algılayıcıların toplam yer değiştirme mesafeleri esas alındığında, karşılaştırılan OSDA-EM'nin orijinal ABC ve PSO tabanlı algoritmalara göre daha iyi sonuçlar vererek optimum olduğu yapılan uygulamalar ile tespit edilmiştir.

#### **4.3. Olasılıksal Tarama Modeli için OSDA-EM ile Örnek Çalışma Uygulamaları**

Bu tez çalışmasında, Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak ilgili alandaki algılayıcıların dinamik dağıtımlarının yapılması amacıyla hem mobil hem de statik algılayıcılar kullanılmıştır. Dolayısıyla geliştirilen OSDA-EM için en uygun uzaklık ve ölçüm parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Olasılıksal Tarama Modeli ile bu parametrelerin belirlenmesi için örnek çalışmalar yapılmıştır. Bu örnek çalışmalarda, 2 boyutlu ve 10201 adet Grid noktasını barındıran 10000 m<sup>2</sup>'lik algılayıcı alanda 20 adet mobil ve 80 adet statik algılayıcının dağıtımı yapılarak bağımsız olan 10 MATLAB uygulaması çalıştırılmıştır. Her bir algılayıcı için  $r = 7$  metre ve  $r_e = 3.5$  ( $0.5 \times r$ ) metre, ağın kapsama eşik oranı ise 0.6 olarak tanımlanmıştır.

Her örnek çalışmada iki senaryo planlaması yapılmıştır. Planlanan *Senaryo 1* için; algılayıcıların optimum olma aralığını belirleyen  $OptLBD$ ,  $OptUBD$ ,  $MCD$  parametreleri sırasıyla  $\sqrt{3}r$ ,  $\sqrt{4}r$ ,  $\sqrt{3}r$  olarak tanımlanmıştır. Bunun nedeni Şekil 3.3 [68]'de gösterilen optimum algılayıcı dağıtımına ulaşabilmek için algılayıcılar arası  $OptLBD$  mesafesinin  $\sqrt{3}r$  olması gerekir. Ayrıca Şekil 3.2a'da gösterildiği gibi, algılayıcıların tarama aralıklarının birbirine teğet olacak biçimde algılayıcı düğümlerin hizalanmaları için algılayıcılar arası  $OptUBD$  mesafesinin  $\sqrt{4}r$  olarak tanımlanması gerekir. Planlanan *Senaryo 2* için ise, algılayıcıların daha geniş bir aralıkta birbirine

hizalanmasını sağlayarak daha fazla sayıda optimum algılayıcı elde etmek için  $OptLBD, OptUBD, MCD$  parametreleri sırasıyla  $\sqrt{2}r, \sqrt{4r}, \sqrt{2}r$  olarak tanımlanmıştır. Planlanan her iki senaryoda  $MCD$  parametresi  $OptLBD$  parametre değerine eşit olarak tanımlanarak optimum algılayıcıların maksimum yaklaşma mesafesi belirlenmiştir.

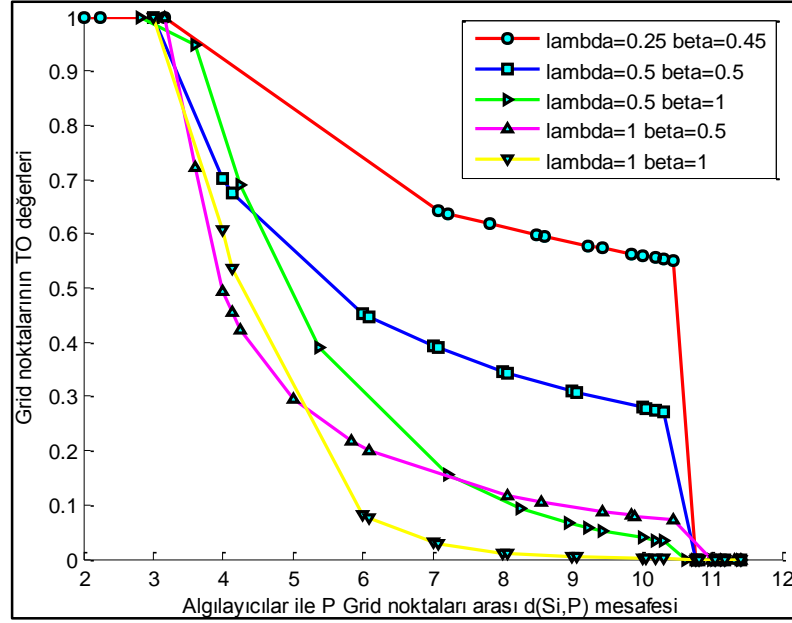
Belirtilen örnek çalışmaların yapılabilmesi amacıyla; öncelikle Olasılıksal Tarama Modeli için optimum ölçüm parametrelerinin tanımlanması gerekir.

#### 4.3.1. Grid noktalarının TO değerini belirleyen ölçüm parametreleri

Olasılıksal Tarama Modelindeki  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri, Grid noktalarının TO değerinin ölçüm parametrelerini temsil ettiği için bu parametreler için en uygun değerlerin tanımlanması her bir Grid noktasının TO değerini etkileyecektir. Şekil 4.8’de gösterilen Olasılıksal Tarama Modelinin ölçüm parametrelerine göre, farklı  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri esas alınıp  $d(s^i, P)$  mesafesinin Grid noktalarının TO değerine olan etkisi ölçülerek ölçüm parametreleri olan  $\lambda$  ve  $\beta$  için optimum değerler belirlenmiştir. Şekil 4.8’de gösterildiği üzere,  $d(s^i, P) \leq r - r_e$  olduğu sürece her bir  $P$  Grid noktası olası olarak %100 oranında taranmakta,  $r - r_e < d(s^i, P) < r + r_e$  olduğu sürece her bir  $P$  noktası hesaplanacak olan  $e^{-\lambda\alpha^\beta}$  olası oranında taranmakta,  $d(s^i, P) \geq r + r_e$  olduğunda ise  $P$  noktaları algılayıcılar tarafından hiç bir olasılık ile taranmamaktadır [8,68].

Şekil 4.8’deki grafiğe göre, Denklem (3,6)’da tanımlanan eşitlik kullanıldığında  $d(s^i, P)$  Öklid mesafesi arttıkça Grid noktalarının TO değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.  $d(s^i, P)$  Öklid mesafesi  $r + r_e$  (10.5 metre)’ye kadar olan mesafede her bir Grid noktası minimum olarak 0.55 (%55)’in üzerinde TO değeri ile tarandığından dolayı bu tez çalışmasındaki ölçüm parametreleri olan  $\lambda$  ve  $\beta$  için optimum değerler sırasıyla 0.25 ve 0.45 olarak belirlenmiştir.

Her bir Grid noktasını tarayan  $s^i$  algılayıcısı ile  $P$  noktası arası olan  $d(s^i, P)$  Öklid mesafesinin  $r + r_e$  (10.5 metre)’den daha büyük olduğu durumlarda her bir Grid noktası etkin olarak taranmayacağından dolayı bu mesafedeki Grid noktalarının TO değeri 0 olur.



Şekil 4.8. Öklid mesafesine göre  $\lambda$  ve  $\beta$  ölçüm parametrelerinin değişim grafiği

#### 4.3.2. Eşik mesafesine göre çakışan alandaki grid noktalarının TO değeri

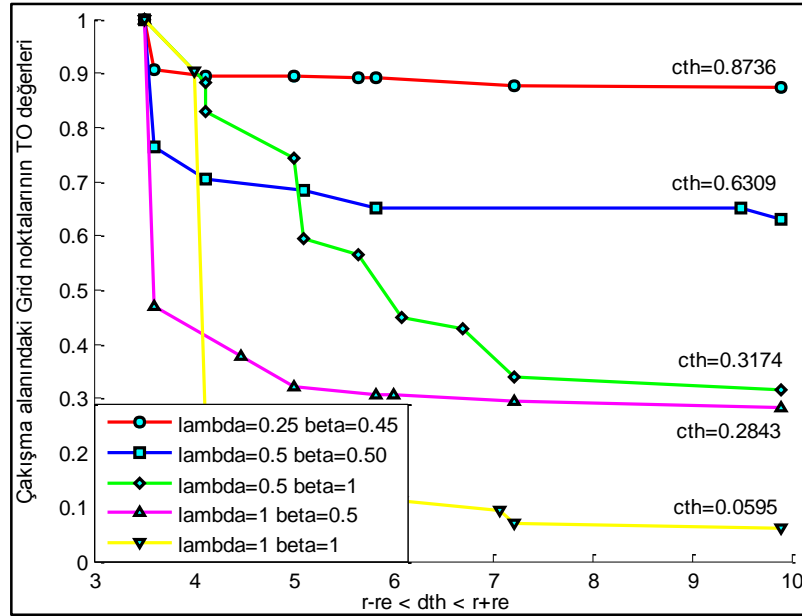
İlgili alandaki mobil algılayıcıların dinamik dağıtımı sonrasında Olasılıksal Tarama Modeli ile alandaki her bir Grid noktasının TO değeri hesaplanırken  $P$  noktası;

- Herhangi bir algılayıcının tarama yarıçapları ( $d(s^i, P) > r + r_e$ ) içinde bulunamayabilir,
- Sadece bir algılayıcının tarama yarıçapları ( $0 \leq d(s^i, P) \leq r + r_e$ ) içinde bulunabilir,
- Birden fazla algılayıcının tarama yarıçapı ( $0 \leq d(s^i, P) \leq r$ ) içinde konumlanarak Şekil 3.2b'deki gibi tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların oluşturduğu çakışma alanında bulunabilir.

İlgili alanın herhangi bir  $(x, y)$  konumundaki  $P$  Grid noktaları ile algılayıcılar arasındaki Öklid mesafesi  $r - r_e < d(s^i, P) < r + r_e$  aralığında olduğunda, bu noktaların  $r - r_e$ 'den  $r + r_e$ 'ye doğru ilerleyen Öklid mesafesindeki TO değerlerinde gittikçe bir düşüş olur. Dolayısıyla algılayıcılardan gittikçe uzaklaşmakta olan bu Grid noktalarının düşük TO değerini dengelemek için bu noktalar en az iki algılayıcının  $r$  tarama yarıçaplarının çakıştığı kapsama alanları içine konumlanması gerekir. Şekil 3.2b'de gösterildiği gibi, en az iki algılayıcının  $r$  tarama yarıçaplarının kesişimi ile

oluşan çakışma alanına konumlanarak  $s^i$  algılayıcıları ile  $0 < d(s^i, P) < r$  mesafesinde taranan Grid noktalarının TO değeri, bu algılayıcıların çakışma alanına konumlanmayarak  $s^i$  algılayıcıları ile  $r - r_e < d(s^i, P) < r + r_e$  mesafesinde taranan  $P$  noktalarının TO değerine göre daha yüksek olur.

Tarama yarıçapları kesişen herhangi iki algılayıcı arasındaki mesafe olan eşik mesafesi ( $d_{th}$ ),  $0 < d_{th} < 2r$  aralığında değıştikçe bu iki algılayıcının çakıştığı alanda bulunan Grid noktalarının TO değerleri Denklem (3,6) esas alınarak hesaplanır. Dolayısıyla çakışan bu algılayıcıların  $r - r_e \leq d_{th} \leq r + r_e$  aralığındaki eşik mesafesinin değışimi esas alınarak, bu çakışma alanında bulunan Grid noktalarının hesaplanan TO değerlerinin değışim grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir



Şekil 4.9.  $s^i$  ve  $s^j$  algılayıcılarının oluşturduğu çakışma alanı içindeki her bir  $P$  Grid noktasının TO değerlerinin eşik mesafesine göre değışimi

Şekil 4.9’deki grafikte gösterildiği üzere,  $r$  tarama yarıçapları çakışan  $s^i$  ve  $s^j$  olan algılayıcılar arası  $d_{th} < 3,5 (r - r_e)$  metre olduğu sürece bu algılayıcılar çakışma alanı içinde bulunan tüm Grid noktaları %100 TO ile taranır. Çakışan algılayıcılar arasındaki  $d_{th}$  değeri  $r - r_e$ ’den  $r + r_e$ ’ye doğru değıştikçe çakışma alanındaki Grid noktalarının TO değeri gittikçe azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu grafikte farklı  $\lambda$  ve  $\beta$  parametre değeri esas alındığında,  $d_{th}$ ’ın çakışma alanındaki Grid noktalarının TO değerlerine olan etkisi hesaplanarak gösterilmiştir. Her bir parametre için  $d_{th}$

mesafesine göre hesaplanan  $c_{th}$ ,  $s^i$  ve  $s^j$  algılayıcıların çakışma alanında bulunan her bir Grid noktasının minimum TO değerini temsil eder. Tanımlanan bu parametre değerlerine göre,  $c_{th}$  sırası ile %87.36, %63.09, %31.74, %28.43 ve %5.95 olarak hesaplanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre,  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri sırası ile 0.25 ve 0.45 olarak tanımlandığında, belirlenen  $d_{th}$  içerisinde %87.36 olarak hesaplanan  $c_{th}$  ile çakışma alanında optimum olan minimum TO değerine ulaşılmıştır.

### 4.3.3. $K$ -kapsama derecesine göre çakışan alandaki grid noktalarının TO değeri

Olasılıksal Tarama Modeli ile dinamik dağıtımı yapılan mobil algılayıcıların ilgili alanda sabit olan statik algılayıcılar ile birlikte oluşturdukları çakışma alanlarındaki  $k$ -kapsama dereceleri hesaplanarak Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Bu çizelgedeki sonuçlara göre, ilgili alanda  $r$  tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların  $k$ -kapsama dereceleri, çakışan alandaki Grid noktalarının ortalama TO değerine olan etkisi doğru orantılı olarak artmıştır. Fakat  $k$ -kapsama derecesi arttıkça çakışan algılayıcıların taradığı toplam Grid sayılarında bir azalma olmuştur. İlgili alanda  $k$ -kapsama derecesine bakılmaksızın çakışan alanlardaki tüm Grid noktalarının maksimum TO'ları %100'dür. Bunun nedeni; çakışma alanındaki herhangi bir Grid noktasının herhangi bir derecede  $k$ -kapsama oluşturan en az bir algılayıcı tarafından  $r - r_e$  'den daha az bir mesafede %100 olasılık ile taranmış olmasıdır. Bunun ispatı olarak [8];

*Denklem (3,6)'da verilen herhangi bir  $P$  Grid noktasının TO formülüne göre,  $d(s^i, P) \leq r - r_e$  olduğunda  $P$  noktası  $s^i$  sensörü tarafından %100 olasılık ile taranır. Ayrıca çakışma alanındaki herhangi bir Grid noktasının TO değeri Denklem (3,8)'e göre hesaplanırken; eğer bu Grid noktası çakışan algılayıcıların herhangi birisi tarafından %100 TO ile taranır ise, bu Grid noktasında  $k$ -kapsama oluşturan diğer algılayıcıların TO değerine bakılmaksızın bu  $P$  noktası %100 olasılık ile taranmış olur.*

Çizelge 4.8'de gösterilen önemli hususlardan bir diğeri;  $k$ -kapsama derecesi arttıkça çakışma alanlarında taranan Grid noktası sayısında ters orantılı bir azalma olmasına rağmen, bu Grid noktalarının ortalama TO değerinde istikrarlı bir şekilde artış olmasıdır. Bunun nedeni, daha yüksek  $k$ -kapsama derecesi ile çakışma alanlarındaki Grid noktalarının taranmış olmasıdır. Bunun ispatı olarak [8];



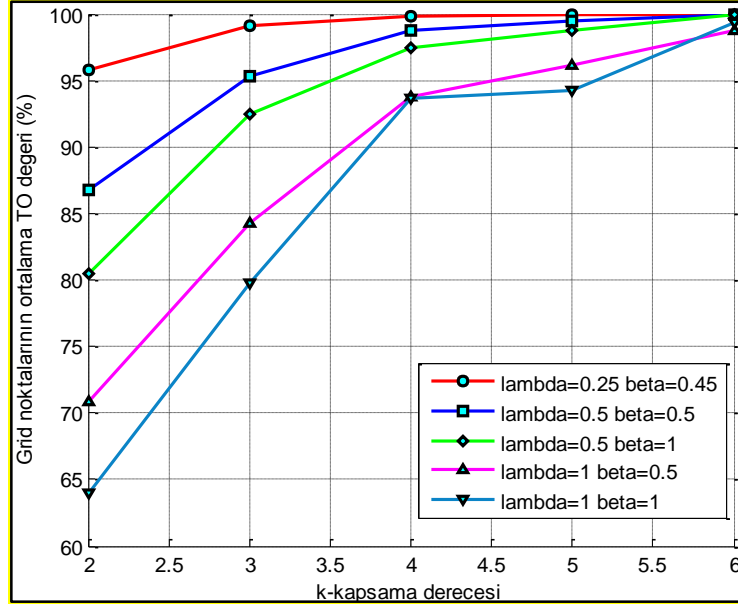
Denklem (3,8)'de verilen ve  $k$ -kapsama oluşan alandaki Grid noktalarının TO hesaplama formülüne göre,  $r$  tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların  $k$ -kapsama derecesi arttıkça çakışan alandaki Grid noktalar daha yüksek olasılıklar ile taranır.

Çizelge 4.8'deki sonuçlara göre, optimum sonuçlar veren ölçüm parametreleri esas alındığında çakışma oluşturarak  $k$ -kapsama derecesi 2 olan algılayıcıların  $d_{th}$  içerisinde taradığı Grid noktalarının minimum TO değeri %87.36 olarak hesaplanmıştır. Bu oran Şekil 4.9'daki  $\lambda$  ve  $\beta$  parametrelerinin optimum değerleri (0.25, 0.45) için hesaplanan  $c_{th}$ 'ye eşit olduğundan, Çizelge 4.8'de  $k$ -kapsama derecesi 2 için hesaplanan çakışan alandaki Grid noktalarının minimum TO değerinin doğrulandığı teyit edilmiştir.

Çizelge 4.8.  $k$ -kapsama derecesine göre çakışan alandaki Grid noktalarının TO değeri

Optimum Parametre	$k$ -kapsama derecesi	Çakışan alandaki Grid noktalarının TO değerleri (%)		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
$\lambda=0.25, \beta=0.45$	2	100	87.36	95.76
	3		95.77	99.11
	4		98.70	99.87
	5		99.61	99.96
	6		99.98	99.99

Farklı  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri esas alınarak  $k$ -kapsama derecesine göre çakışan alandaki Grid noktalarının ortalama TO değerleri hesaplanarak Şekil 4.10'daki grafikte gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, oluşan  $k$ -kapsama dereceleri esas alınarak  $\lambda$  ve  $\beta$  parametreleri sırası ile 0.25 ve 0.45 olarak tanımlandığında alandaki Grid noktaları için hesaplanan ortalama TO değerinin optimum olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.10.  $k$ -kapsama derecesi ve ölçüm parametrelerine göre çakışan algılayıcıların kapsadığı Grid noktalarının ortalama TO degeri

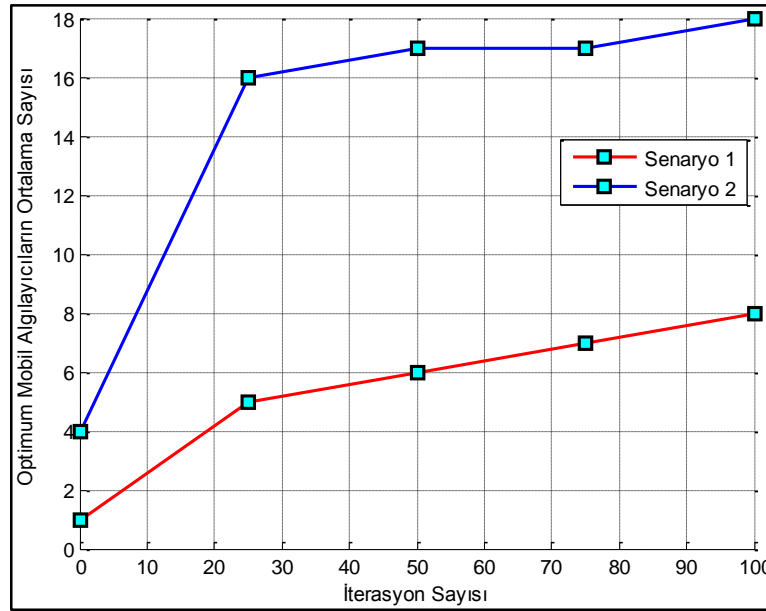
#### 4.3.4. Örnek çalışma 1: iterasyon sayısına göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar

Bu örnek çalışmada, tüm algılayıcıların başlangıçtaki rastgele dağıtımı sonrasında statik algılayıcıların konumlarının sabit olması şartıyla alandaki mobil algılayıcıların dinamik dağıtımları geliştirilen OSDA-EM ile yapılmıştır. Her senaryoda tanımlanan parametreler ve iterasyon sayıları esas alındığında,  $OptMSN$  ile optimum statik algılayıcı sayısı (Optimal Stationary Sensor Number –  $OptSSN$ ) hesaplanmış ve elde edilen uygulama sonuçları Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. İterasyon sayısına göre alandaki  $OptMSN$  ve  $OptSSN$  uygulama sonuçları

Senaryolar	$OptLBD - OptUBD$ Aralığı ve MCD	İterasyon Sayısı	Ortalama $OptMSN$	Ortalama $OptSSN$	Ortalama Çalışma zamanı (saniye)
Senaryo 1	$\sqrt{3}r - \sqrt{4}r, \sqrt{3}r$ (12.12 – 14, 12.12 metre)	50	6	3	21.71
		100	8	4	42.79
Senaryo 2	$\sqrt{2}r - \sqrt{4}r, \sqrt{2}r$ (9.89 – 14, 9.89 metre)	50	17	6	20.26
		<b>100</b>	<b>18</b>	<b>7</b>	<b>39.26</b>

Çizelge 4.9'daki uygulama sonuçlarına göre, her bir senaryodaki çalıştırılan iterasyon sayısı arttıkça elde edilen ortalama  $OptMSN$ 'nin kararlı bir şekilde arttığı ve *Senaryo 2*'de hesaplanan ortalama  $OptMSN$ 'nin *Senaryo 1*'e göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni; *Senaryo 2*'deki  $OptLBD - OptUBD$  parametrelerinin daha geniş değer aralığında tanımlanması ile daha fazla sayıda algılayıcının optimum konuma yerleşmesidir. Uygulama *Senaryo 2* esas alınarak çalıştırıldığında başlangıçta rastgele olarak dağıtılan 20 mobil algılayıcı düğümlerden ortalama olarak sadece 4 mobil algılayıcı optimum konumda bulunurken, OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtımda 100 iterasyon sonunda ortalama olarak 18 mobil algılayıcı optimum konuma yerleşmiştir. Şekil 4.11'de gösterilen grafiğe göre,  $OptMSN$  ve uygulamaların ortalama çalışma zamanı bakımından *Senaryo 2* optimum çözümü sunmuştur.



Şekil 4.11. İterasyon sayısına göre ortalama  $OptMSN$ 'nin değişim grafiği

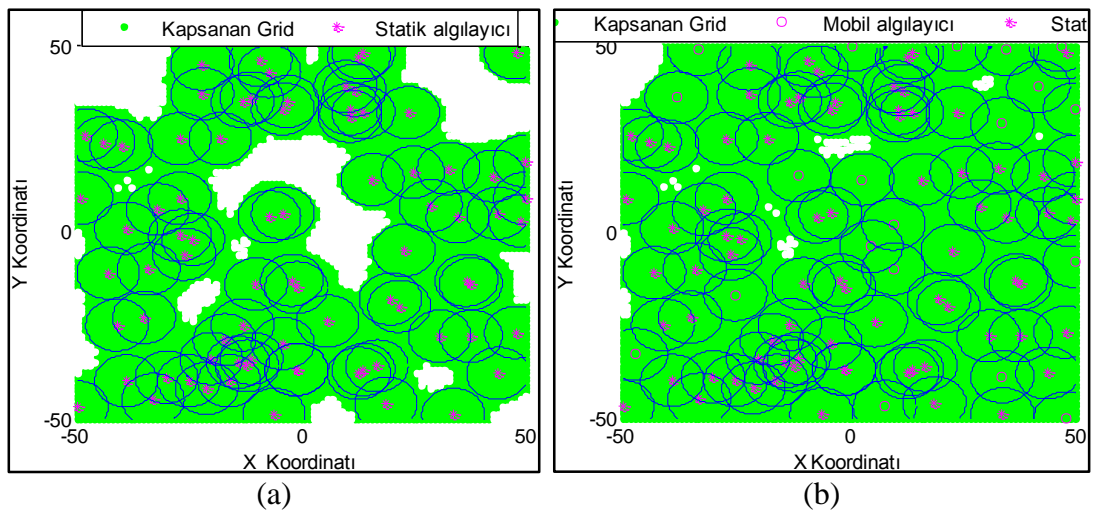
#### 4.3.5. Örnek çalışma 2: $OptNSN$ parametresi ve iterasyon sayısına göre alanın kapsanma oranları

Bu örnek çalışmada, tanımlanan her iki senaryodaki uzaklık parametreleri ve iterasyon sayıları esas alınarak  $OptNSN \geq 1$  olma şartı ile uygulamaların çalıştırılması sonucunda; ilgili alanın ortalama kapsanma oranlarının kararlı bir şekilde arttığı tespit edilmiş ve hesaplanan uygulama sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. *OptNSN* ve iterasyon sayısına göre alanın ortalama kapsama oranlarının uygulama sonuçları

Senaryolar	<i>OptLBD</i> – <i>OptUBD</i> Aralığı ve <i>MCD</i>	<i>OptNSN</i>	İterasyon Sayısı	Alanın Ortalama Kapsama Oranı (%)
<i>Senaryo 1</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{4r}, \sqrt{3}r$ (12.12 – 14, 12.12 metre)	$\geq 1$	50	94.80
			100	97.76
<i>Senaryo 2</i>	$\sqrt{2}r - \sqrt{4r}, \sqrt{2}r$ (9.89 – 14, 9.89 metre)		50	97.56
			<b>100</b>	<b>98.25</b>

Çizelge 4.10'daki sonuçlara göre, alanın ortalama kapsama oranı esas alındığında senaryolar için tanımlanan uzaklık parametrelerine göre *Senaryo 2* kullanılarak en iyi sonuca ulaşılmıştır. 20 mobil ve 80 statik algılayıcı rastgele olarak dağıtıldığında sadece statik algılayıcılar tarafından ilgili alan %83.91 oranında kapsanarak başlangıç konumları Şekil 4.12a'da gösterilmiştir. En iyi çözüm sunan *Senaryo 2* esas alınarak 100 iterasyon çalıştırıldığında ilgili alan %98.25 oranında optimum olarak kapsanmış ve algılayıcıların alandaki optimum konumları Şekil 4.12b'de gösterilmiştir. Sonuç olarak; bu örnek çalışmada *Senaryo 2* alanın kapsama oranı bakımından optimum çözümü sunmuştur.



Şekil 4.12. (a) Statik algılayıcıların rastgele dağılımı, (b) tüm algılayıcıların 100 iterasyon sonundaki optimum dağılımları

### 4.3.6. Örnek çalışma 3: *OptNSN* parametresine göre optimum konuma yerleşen algılayıcılar

Bu örnek çalışmada, tanımlanan her iki senaryo ile *OptNSN*'nin ardışık olarak artırılarak uygulamanın 100 iterasyon ile çalıştırılması sonucunda ilgili alandaki ortalama *OptMSN*, *OptSSN*, alanın ortalama kapsanma oranı ve algılayıcıların yakınsama hızı hesaplanmış ve elde edilen uygulama sonuçları Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. *OptNSN* parametresi esas alınarak elde edilen optimum algılayıcı sayılarına göre alanın hesaplanan kapsanma oranları

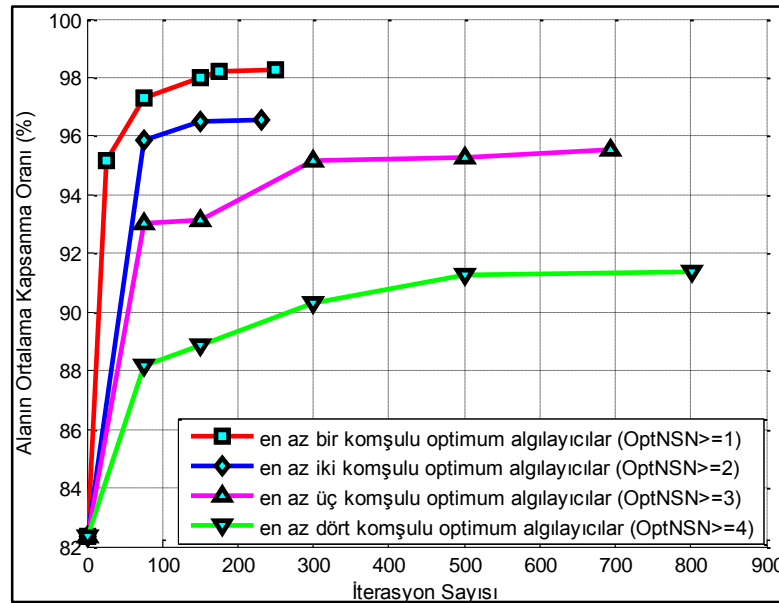
Senaryolar	<i>OptLBD</i> – <i>OptUBD</i> Aralığı ve <i>MCD</i>	<i>OptNSN</i>	Ortalama <i>OptMSN</i>	Ortalama <i>OptSSN</i>	Ortalama Kapsanma Oranı (%)	Ortalama Çalışma zamanı (saniye)
Senaryo 1	$\sqrt{3}r - \sqrt{4}r, \sqrt{3}r$ (12.12 – 14, 12.12 metre)	$\geq 1$	11	3	97.01	42.60
		$\geq 2$	6	3	92.77	44.04
		$\geq 3$	1	3	87.99	45.32
		$\geq 4$	1	3	87.00	45.53
Senaryo 2	$\sqrt{2}r - \sqrt{4}r, \sqrt{2}r$ (9.89 – 14, 9.89 metre)	$\geq 1$	<b>18</b>	<b>7</b>	<b>97.83</b>	<b>39.26</b>
		$\geq 2$	16	7	95.04	40.09
		$\geq 3$	12	6	93.03	42.80
		$\geq 4$	5	6	89.84	44.69

Çizelge 4.11'deki sonuçlara göre, *OptNSN*'yi artırdıkça her iki senaryodaki hesaplanan *OptMSN*, *OptSSN* ve ortalama kapsanma oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu örnek çalışmadaki her iki senaryo az sayıda iterasyon ile çalıştırıldığından dolayı *OptNSN*'nin artırılması durumunda ortamdaki hem mobil hem de statik algılayıcıların optimum konuma yerleşmesi zorlaşmıştır. Bu nedenle daha az sayıda algılayıcı optimum konuma yerleşmiş ve ilgili alanın kapsanma oranında bir azalma olmuştur. Bu sorunu çözmek amacıyla *OptNSN*'ni artırdıkça ilgili alanın kapsanma oranını düşürmeden mobil algılayıcılar ile optimum dinamik dağıtımı gerçekleştirmek için iterasyon sayılarını esas alan yeni bir uygulama yapılmış ve hesaplanan uygulama sonuçları Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. *OptNSN* parametresi esas alınan uygulamada iterasyon sayısının optimum algılayıcı sayısına ve alanın kapsanma oranına etkisi

<i>OptNSN</i>	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama <i>OptMSN</i>	Ortalama <i>OptSSN</i>	Ortalama Kapsanma Oranı (%)
$\geq 1$	176	19	7	98.22
$\geq 2$	232	19	6	96.55
$\geq 3$	693	18	6	95.55
$\geq 4$	801	11	6	91.37

Çizelge 4.12'deki sonuçlara göre, *OptNSN*'nin ardışık olarak artırılmasıyla birlikte istenen *OptMSN*'yi elde edebilmek için çalıştırılması gereken iterasyon sayılarında kararlı bir şekilde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.13'deki grafiğe göre, *OptNSN*'nin en az 1 ( $\geq 1$ ) olarak tanımlanması durumunda sadece 176 iterasyon çalıştırılarak ilgili alanın optimum olarak kapsadığı ve alandaki mobil algılayıcıların daha kısa sürede yakınsayarak optimum konuma yerleştiği tespit edilmiştir. Bu örnek çalışmada Çizelge 4.11'de tanımlanan *Senaryo 2*'deki uzaklık parametreleri ve Çizelge 4.12'de tanımlanan  $OptNSN \geq 1$  şartı esas alındığında, hem ilgili alanın kapsanma oranı bakımından hem de mobil algılayıcıların daha az iterasyon ile dinamik dağıtımlarının yapılması sonucunda elde edilen ortalama çalışma zamanı bakımından çalıştırılan parametreler ile optimum çözüm elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Çalıştırılan iterasyonlar ile *OptNSN* parametresi esas alınarak alanın kapsanma oranlarının değişim grafiği

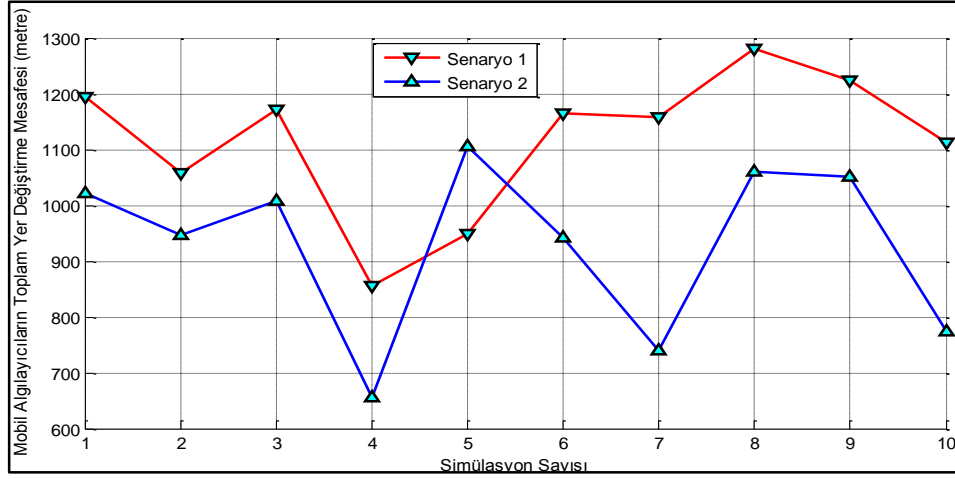
#### 4.3.7. Örnek çalışma 4: mobil algılayıcıların toplam yer değiştirme mesafeleri

Bu örnek çalışmada, ilgili alanda rastgele dağıtılan 20 mobil algılayıcının başlangıç konumları ile OSDA-EM tarafından mobil algılayıcıların yapılan dinamik dağıtımları sonrası konumları arasındaki toplam hareket mesafeleri hesaplanarak Çizelge 4.13’de gösterilmiştir. Ayrıca toplam hareket mesafeleri esas alınarak optimum enerji tüketimini sağlayan Senaryo çalışması tespit edilmiştir. Her biri bağımsız olan uygulamaların 100 iterasyon ile çalıştırılması sonucunda; alandaki mobil algılayıcıların toplam hareket mesafesinin ortalaması *Senaryo 1*’de 1171.10 metre, *Senaryo 2*’de ise 930.77 metre olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Her biri bağımsız olan uygulamalar ile alandaki 20 mobil algılayıcının toplam hareket mesafeleri

<i>Senaryolar</i>	<i>OptLBD – OptUBD Aralığı ve MCD</i>	<i>Toplam Hareket Mesafeleri (metre)</i>				
<i>Senaryo 1</i>	$\sqrt{3}r - \sqrt{4}r, \sqrt{3}r$ (12.12 – 14, 12.12 metre)	<i>Uygulama 1</i>	<i>Uygulama 2</i>	<i>Uygulama 3</i>	<i>Uygulama 4</i>	<i>Uygulama 5</i>
		1194.3	1058.5	1172.6	856.0	<b>949.2</b>
		<i>Uygulama 6</i>	<i>Uygulama 7</i>	<i>Uygulama 8</i>	<i>Uygulama 9</i>	<i>Uygulama 10</i>
		1165.5	1158.4	1279.9	1224.2	1112.0
<i>Senaryo 2</i>	$\sqrt{2}r - \sqrt{4}r, \sqrt{2}r$ (9.89 – 14, 9.89 metre)	<i>Uygulama 1</i>	<i>Uygulama 2</i>	<i>Uygulama 3</i>	<i>Uygulama 4</i>	<i>Uygulama 5</i>
		<b>1022.1</b>	<b>945.7</b>	<b>1008.3</b>	<b>656.7</b>	1106.6
		<i>Uygulama 6</i>	<i>Uygulama 7</i>	<i>Uygulama 8</i>	<i>Uygulama 9</i>	<i>Uygulama 10</i>
		<b>942.1</b>	<b>740.1</b>	<b>1061.0</b>	<b>1051.4</b>	<b>773.7</b>

Her bir uygulamadaki toplam hareket mesafelerinin karşılaştırmasının yapıldığı Şekil 4.14’e göre, dinamik dağıtımı yapılan 20 mobil algılayıcının *Senaryo 2*’deki ortalama hareket mesafesinin diğer senaryoya göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla OSDA-EM’de tanımlanan *Senaryo 2* esas alınarak algılayıcıların dinamik dağıtımının yapılması durumunda mobil algılayıcıların enerji tüketimlerinin daha az olacağı söylenebilir. Bu örnek çalışmada *Senaryo 2* algılayıcıların enerji tüketimleri açısından optimum çözümü sunabilmektedir.



Şekil 4.14. Her bir uygulamadaki 20 mobil algılayıcının toplam yer değiştirme mesafesi grafiği

#### 4.3.8. Örnek çalışma 5: tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların $k$ -kapsama derecesi

Bu tez çalışmasında, geliştirilen OSDA-EM ile algılayıcıların optimum dinamik dağıtımları yapılırken aynı zamanda alandaki algılayıcı düğümlerin enerji tüketimlerinin de optimum olarak sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Alandaki algılayıcı düğümlerin yaşam sürelerinin artırılması aynı zamanda aktif olan düğümlerin alandaki  $k$ -kapsama derecelerinin optimize edilmesi ile de sağlanabilir. Bu amaçla; oluşacak  $k$ -kapsama derecesinin ve çakışan algılayıcıların taradığı Grid noktası sayısının minimize edilecek şekilde algılayıcıların dinamik dağıtımlarının optimum olarak yapılması gerekmektedir.

Bu örnek çalışmada, her biri 100 iterasyondan oluşan bağımsız 10 uygulama ile alandaki 20 mobil algılayıcının dinamik dağıtımının yapılması sonrasında tarama yarıçapları çakışan tüm algılayıcıların  $k$ -kapsama dereceleri, çakışan algılayıcılar tarafından kapsanan Grid noktalarının sayısı ve çakışma oluşturan düğüm sayıları hesaplanarak Çizelge 4.14'de gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar göre, Olasılıksal Tarama Modeli ile dinamik dağıtım yapılan mobil algılayıcıların minimum  $k$ -kapsama derecesi esas alınarak tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların kapsadığı Grid noktası sayısının belirlenebilmesi için optimum Senaryo çalışması tespit edilecektir.

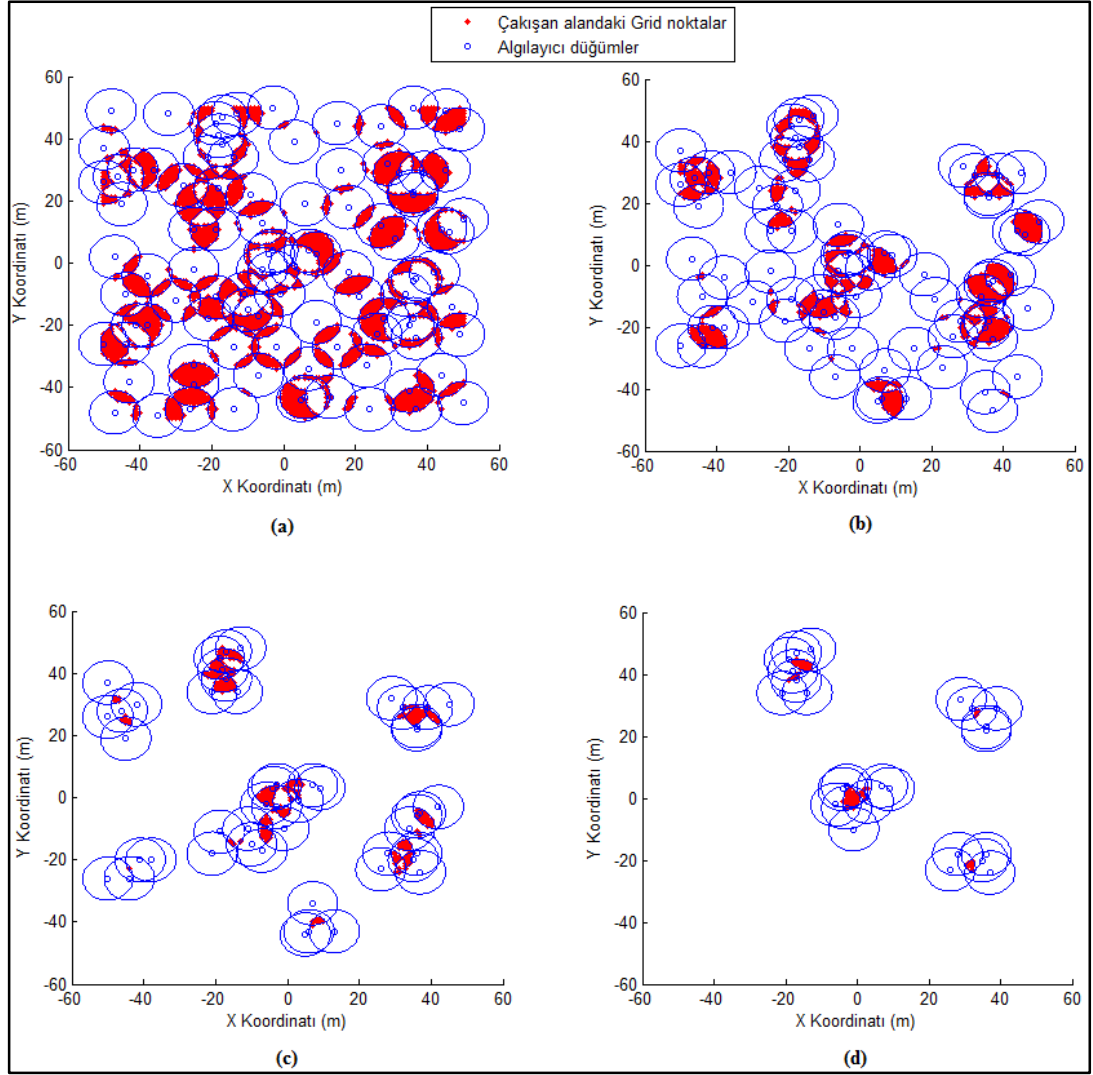


Çizelge 4.14. Dinamik dağıtım sonrası tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların  $k$ -kapsama derecesi

Senaryolar	$OptLBD - OptUBD$ Aralığı ve MCD	$k$ -kapsama derecesine göre kapsanan Grid sayısı / çakışan düğüm sayısı					
		2	3	4	5	6	7
Senaryo 1	$\sqrt{3}r - \sqrt{4}r, \sqrt{3}r$ (12.12 – 14, 12.12 metre)	2591	931	<b>184</b>	<b>49</b>	12	3
		/	/	/	/	/	/
		98	85	51	13	8	7
Senaryo 2	$\sqrt{2}r - \sqrt{4}r, \sqrt{2}r$ (9.89 – 14, 9.89 metre)	<b>2340</b>	<b>874</b>	254	58		
		/	/	/	/	<b>0</b>	<b>0</b>
		100	74	48	25		

Çizelge 4.14'deki sonuçlara göre, bağımsız uygulamaların *Senaryo 1* ile yapılması durumunda tarama yarıçapları çakışan algılayıcılarda oluşan  $k$ -kapsama derecesi en fazla 7'ye kadar, *Senaryo 2* ile yapılması durumunda ise  $k$ -kapsama derecesi en fazla 5'e kadar hesaplanmıştır. Ayrıca  $2 \leq k \leq 7$  aralığında hesaplanan her bir  $k$ -kapsama dereceleri esas alındığında; ilgili alanda *Senaryo 1* ile yapılan dinamik dağıtımda çakışan algılayıcılar tarafından kapsanan Grid sayılarının toplamı 3770, *Senaryo 2*'de ise 3526 olarak hesaplanmış ve  $k$ -kapsama derecesine göre çakışma oluşturan toplam algılayıcı düğüm sayısı da tespit edilmiştir. Dolayısıyla ilgili alandaki hem  $k$ -kapsama derecesi bakımından hem de çakışma alanındaki kapsanan Grid sayısı bakımından *Senaryo 2*,  $k$ -kapsama derecesinin ve çakışan alandaki kapsanan Grid noktası sayısının daha az olması ile bu örnek çalışmada optimum çözümü sunmuştur.

Sonuç olarak; *Senaryo 2* ile yapılan dinamik dağıtımda alandaki mobil algılayıcıların enerji tüketimi optimize edilerek ağın yaşam süresi *Senaryo 1*'e göre uzatılmıştır. *Senaryo 2* ile yapılan uygulamada algılayıcıların  $k$ -kapsama derecesine göre  $r$  tarama yarıçapları çakışan algılayıcılar tarafından kapsanan Grid noktalar ve çakışma oluşturan algılayıcıların konumları Şekil 4.15'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.15.  $k$ -kapsama derecesi sırasıyla (a) 2, (b) 3, (c) 4, (d) 5 olan algılayıcı düğümler ve bunların çakışma alanında kapsadığı Grid noktalar

#### 4.3.9. İdeal ortamdaki uygulamalar ile algoritmaların karşılaştırılması

Algılayıcıların ilgili alan içerisinde istenilen bölgede dağılımlarını önleyecek herhangi bir engelin olmadığı, 10201 Grid noktasından oluşan ve  $10000 \text{ m}^2$  olan ideal bir alanda,  $r = 7$  ve  $r_e = 3.5$  metre olduğu 20 mobil ve 80 statik algılayıcı kullanılmıştır. Ayrıca alandaki her bir Grid noktasının  $c_{th} = 0.6$  (%60) olarak tanımlanmıştır. Önerilen OSDA-EM'nin diğer algoritmalar ile karşılaştırılmasında daha güvenilir sonuçlar elde etmek için  $A$ ,  $N_{mobil}$ ,  $N_{statik}$ ,  $r$  ve  $r_e$  değerleri aynı olmak şartıyla MATLAB ortamında 30 bağımsız uygulama çalıştırılarak Olasılıksal Tarama Modeli ile 20 mobil algılayıcının dinamik dağıtımı yapılmıştır. OSDA-EM ile mobil algılayıcıların dinamik dağıtımı yapılırken Olasılıksal Tarama Modeli ile yapılan

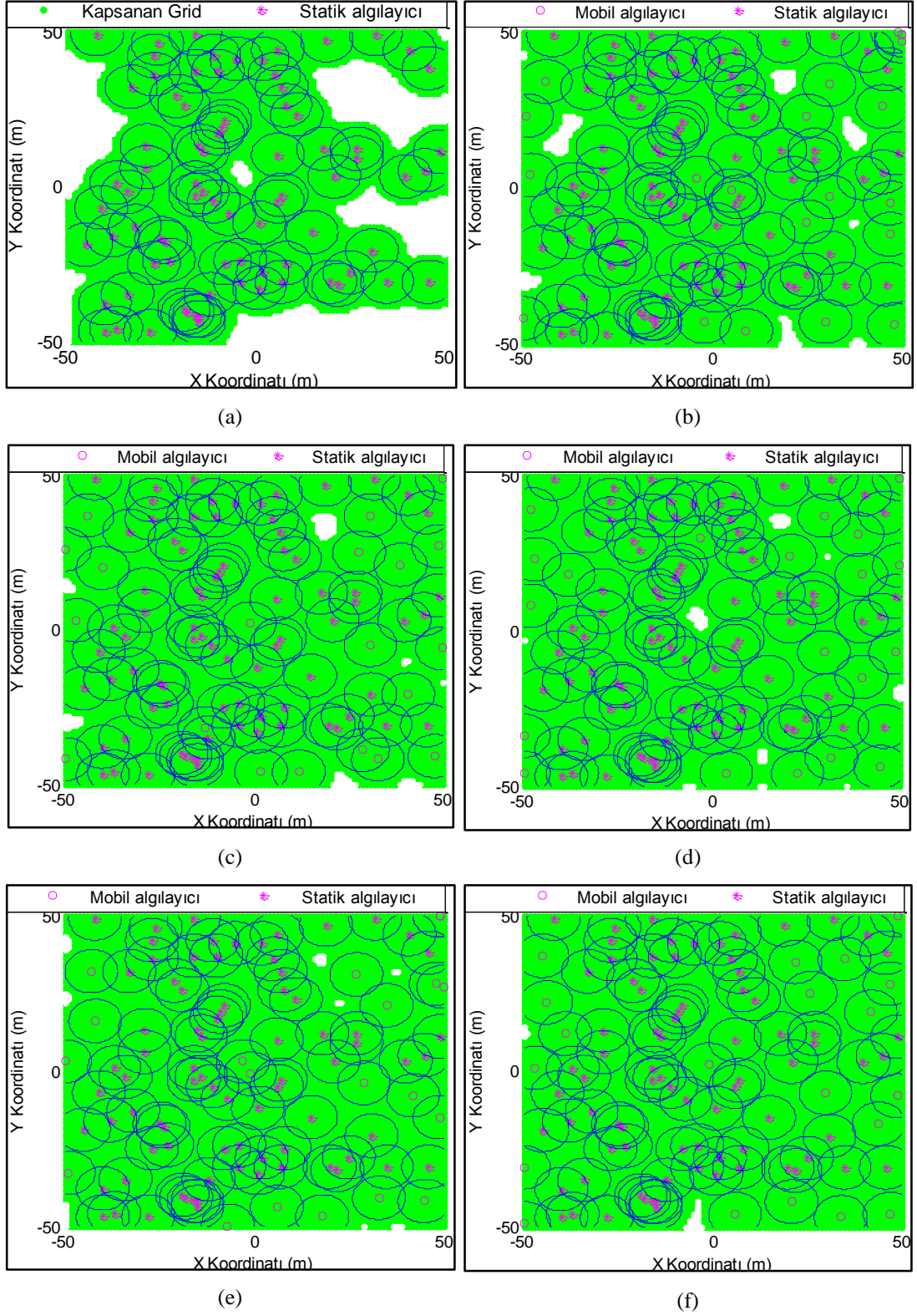
örnek çalışmalarda tanımlanan ve her defasında optimum sonuçlar veren *Senaryo 2*'deki uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca *Örnek Çalışma 3*'de optimum olarak tespit edilen  $OptNSN \geq 1$  olarak tanımlanarak ideal ortamdaki uygulamalar yapılmıştır.

Önerilen OSDA-EM ile literatürde çalışılan orijinal ABC ve PSO algoritmalarının [21] karşılaştırma ölçütü algılayıcılar tarafından taranan alanın kapsanma oranlarıdır. İlgili alandaki mobil ve statik algılayıcıların rastgele dağıtımını sonrasında geliştirilen OSDA-EM'nin performansını gözlemlemek için her biri 1000 iterasyondan oluşan uygulamalar çalıştırılarak algılayıcıların dinamik dağıtımını yapılmıştır. Alandaki statik ve mobil algılayıcılardan sadece mobil olan düğümlerin dinamik dağıtımının yapılması sonucunda alanın hesaplanan kapsanma oranı değerleri Çizelge 4.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Algoritmaların kapsanma oranlarının karşılaştırılması

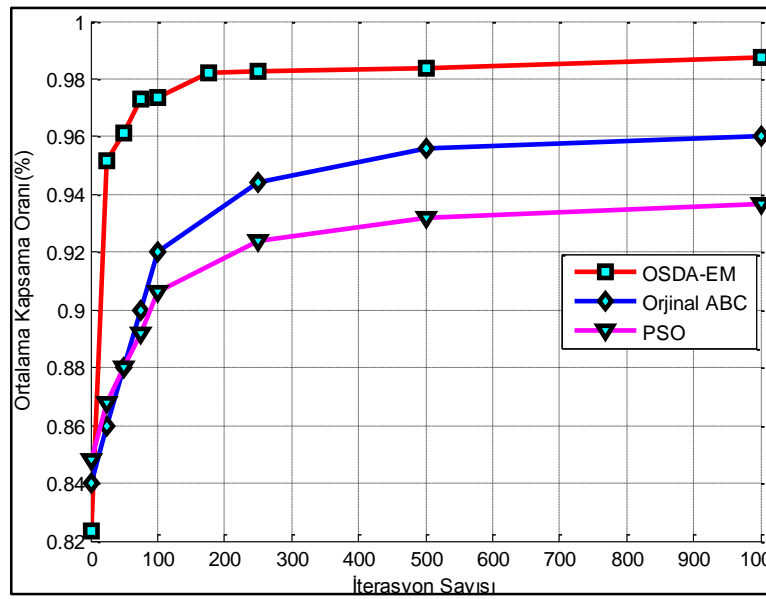
<i>Karşılaştırılan ölçütler</i>	<i>Başlangıç Kapsama</i>	<i>Dinamik Dağıtım Sonrası Kapsama</i>		
	<i>OSDA-EM</i>	<i>Orijinal ABC</i>	<i>PSO</i>	
<i>Ortalama</i>	0.8672	<b>0.9876</b>	0.9601	0.9368
<i>En İyi</i>	0.8941	<b>0.9976</b>	0.9752	0.9581
<i>En Kötü</i>	0.8234	<b>0.9726</b>	0.9365	0.9094
<i>Standart Sapma</i>	0.025	<b>0.0068</b>	0.0078	0.0128

Orijinal ABC ve PSO algoritmalarının başlangıçtaki rastgele dağıtım oranlarının birbirine yakın olması şartıyla, geliştirilen OSDA-EM'de algılayıcıların başlangıç dağıtım oranı karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha düşük alınarak minimum %82.34 olarak belirlenmiştir. OSDA-EM ile yapılacak dinamik dağıtımda algılayıcıların rastgele dağıtım oranının minimum alınmasının sebebi; daha güvenilir bir şekilde OSDA-EM ile optimum dinamik dağıtım yapılabildiğini göstermektir. OSDA-EM ile 80 statik algılayıcının rastgele dağıtımını yapıp ilgili alanın başlangıçtaki kapsanma oranları belirlenerek Çizelge 4.15'de gösterilen uygulama sonuçlarına göre, OSDA-EM ile ilgili alanda elde edilen ortalama, en iyi ve en kötü kapsanma oranı ile standart sapma değerlerinin orijinal ABC ve PSO algoritmalarına göre optimum olduğu tespit edilmiştir. Rastgele dağıtımını sonrası sabit olan 80 statik algılayıcı ile optimum dinamik dağılımı yapılan 20 mobil algılayıcının ilgili alandaki konumları Şekil 4.16'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.16. OSDA-EM ile (a) 80 statik algılayıcının rastgele dağıtımı (%82.34), (b) 50 iterasyon sonrası (%98.27), (c) 100 iterasyon sonrası (%99.10), (d) 250 iterasyon sonrası (%99.42), (e) 500 iterasyon sonrası (%99.63) ve (f) 1000 iterasyon sonrası (%99.76) mobil algılayıcıların dinamik dağılımları ve alandaki optimum konumları

Şekil 4.17’de gösterilen ve iterasyon sayısı esas alınarak ortalama kapsama oranları karşılaştırılan üç algoritmanın performans grafiğine göre, OSDA-EM ile algılayıcıların optimum dinamik dağılımına sadece 176 iterasyonda ulaşılırken, orijinal ABC algoritması [21] ile 703 iterasyonda, PSO algoritması [21] ile 901 iterasyonda ulaşmıştır. OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtımda sadece 176 iterasyon çalıştırılarak ilgili alanda optimum olarak %99.10 kapsama oranına ulaşıldığı, algılayıcıların birbirine çok kısa bir sürede hızla yakınsayarak iterasyon sayısı artırıldığında bile alanın kapsama oranında fazla bir artış olmadan 1000 iterasyonda %99.76 kapsama oranına ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. OSDA-EM, orijinal ABC ve PSO algoritmalarının alandaki kapsama oranlarına göre performanslarının karşılaştırılması

Sonuç olarak; Şekil 4.17’de gösterilen performans grafiğine göre, alandaki 80 statik algılayıcının minimum kapsama oranı ile rastgele dağıtımının yapılması sonrasında Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak 20 mobil algılayıcının dinamik dağıtımlarının geliştirilen OSDA-EM tarafından yapılması durumunda literatürdeki karşılaştırılan algoritmalara göre, algılayıcıların hızlı bir şekilde optimum konuma yerleştiği ve alanın optimum olarak kapsandığı, dolayısıyla önerilen OSDA-EM’nin algılayıcıların dinamik dağıtımında tercih edilebileceği yapılan bağımsız uygulamalar ile tespit edilmiştir.

#### 4.4. Gerçek Ortamda Yapılan Örnek Bir Uygulama

Bu tez çalışmasında, ilgili alandaki algılayıcı düğümlerin etkin dinamik dağıtımını gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen OSDA-EM'nin gerçek bir ortamda uygulanması düşünülmüştür. Bu amaç ile orijinal ABC ve PSO algoritmalarına göre optimum dinamik dağıtım yaptığı ispat edilen OSDA-EM [64]'nin uygulanacağı gerçek ortam daha önceden KAA oluşturularak erişim noktası (Access Point - AP) cihazlarının gelişigüzel bir şekilde yerleşimlerinin yapıldığı Yüzüncü Yıl Üniversitesinin Merkez Kampüs alanı seçilmiştir. Önerilen OSDA-EM ile dinamik dağıtım yapılan algılayıcı düğümleri temsil etmek için bu örnek uygulamada mobil AP cihazları kullanılmıştır. Önceden yerleştirilen AP cihazları ile 1600x1200 metre olan kısmi bir kampüs alanında Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless-Fidelity – Wi-Fi) oluşturulması hedeflenmiştir. AP cihazlarının her birisi teorikte 400 metre tarama yarıçapına sahiptir. Fakat saha uygulamasında ağaç gibi dış etkenlerden dolayı RF iletimi engelleneceğinden dolayı 200 metre tarama yarıçapı esas alınarak bu uygulama gerçekleştirilmiştir. Aynı marka ve model ile aynı özelliklere sahip, yerden 100 metre yüksekliğe kadar olan bir mesafede 360 derecelik bir açı ile RF yayabilen, toplam 7 adet dış ortam AP cihazı bu kampüste kullanılmaktadır.

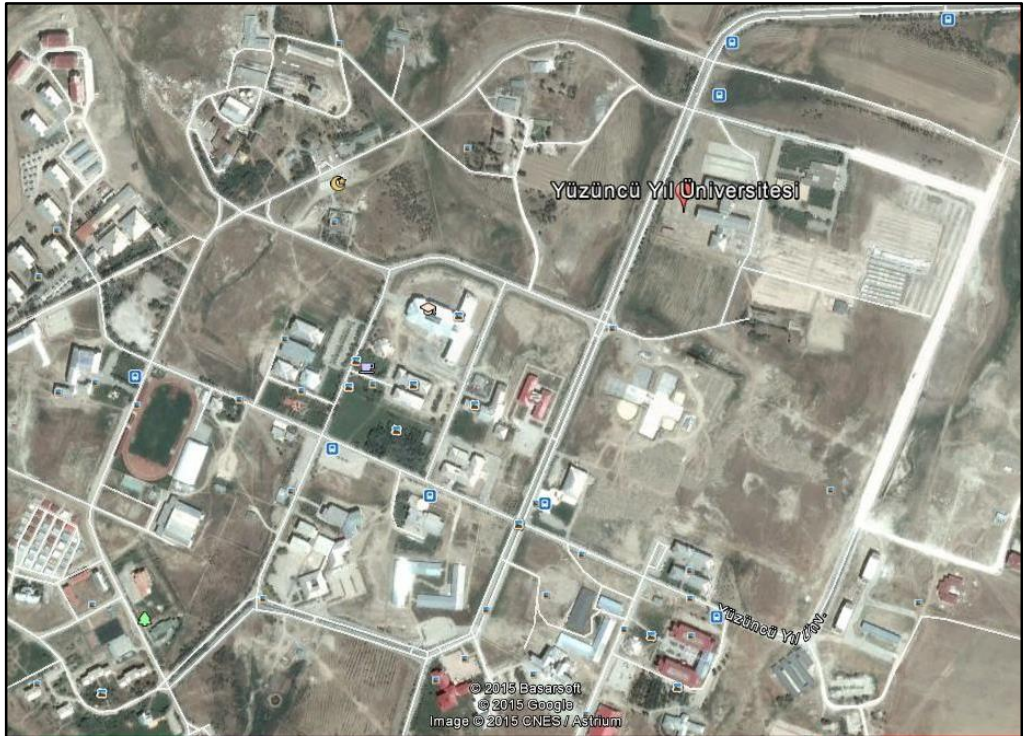
Bu uygulamadaki amaç; rastgele olarak binaların dış ortamına yerleştirilen AP cihazlarının OSDA-EM ile dinamik dağıtımını gerçekleştirerek kampüs alanı içerisinde etkin Wi-Fi oluşturup ilgili alanın optimum bir şekilde kapsanmasını sağlamak olacaktır. Tez çalışmasında ayrıntılı olarak açıklanan İkili Tarama Modeli kullanılarak bu örnek uygulamadaki mobil olan AP cihazlarının dinamik dağıtım yapılacaktır.

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Kampüsünde mevcut AP cihazlarının dinamik dağıtımının yapılacağı alan Şekil 4.18'de 3-boyutlu olarak kırmızı dikdörtgen ile çizilerek gösterilmiştir. Belirtilen bu dikdörtgen alan 1600 metre boyunda ve 1200 metre eninde tanımlanarak merkez kampüsünün sadece kısmi bir kesiti temsil edilmiştir. Tanımlanan bu alanın boy ve en oranları kullanılmakta olunan 7 adet AP cihazının mevcut konumları esas alınarak; kampüsdeki tüm fakülteler, yüksekokullar, merkezi yemekhane, kütüphane, öğrenci kafeteryaları, özel kız ve erkek öğrenci yurt binaları ve diğer idari binaları çevreleyecek şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde kurulu olan Wi-Fi'nin kısmi dikdörtgen kesitinin 3-boyutlu haritası

7 adet AP cihazının rastgele dağıtımları ile dinamik dağılımları sonrasındaki konumlarını göstermek için kampüs alanının bir kapsama haritası oluşturularak, Şekil 4.18'de tanımlanan dikdörtgen alanın 2-boyutlu görünümü Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Kısmi kampüs alanının 2-boyutlu kapsama haritası

Rastgele olarak dağıtılan ve dinamik dağılımı yapılacak olan dış ortam AP cihazları kampüs alanı yerleşkesindeki mevcut binaların dış ortamına konumlandırılacağı için bu AP cihazlarının oluşturduğu kapsama alanı sadece bina dışındaki açık alanlarda etkili olmakta ve kısmen de olsa binanın iç ortamında kapsama alanı oluşturabilmektedir. Fakat dış ortam özelliği olan AP cihazları ile gerçek ortamdaki bu uygulama sadece kampüs yerleşkesindeki açık alanlarda yapılacak olan dinamik dağıtımlar için geçerli olacaktır. Bu uygulama ile dinamik dağıtım yapılan AP cihazları eğer mevcut bir bina üzerine dağıtılır ise, bu binanın çatısına yerleştirileceği, eğer herhangi bir binanın olmadığı açık bir alana dağıtılır ise, bu açık alana dikilecek olan herhangi bir direk üzerine yerleştirileceği öngörülerek AP cihazlarının konumları tasarlanmıştır.

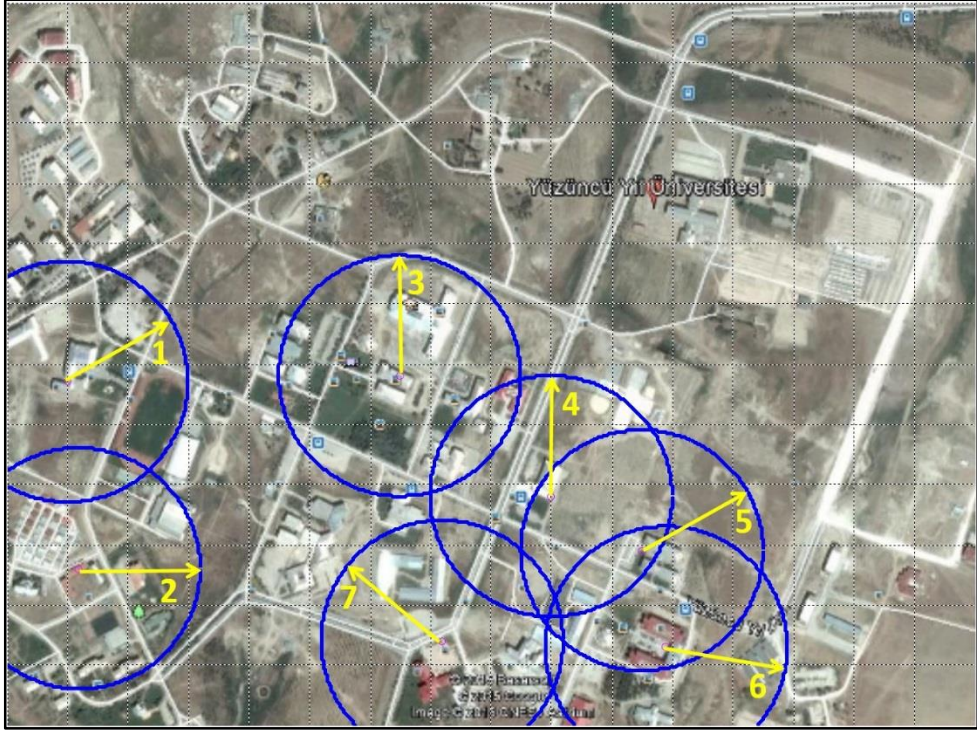
#### **4.4.1. Örnek uygulama için OSDA-EM'deki parametrelerinin tanımlanması**

Bu örnek uygulamada, ilgili alandaki mobil olan 7 AP cihazının dinamik dağılımlarının İkili Tarama Modeli ile optimum olarak yapılabilmesi amacıyla bu tezde geliştirilen OSDA-EM için en uygun parametrelerin tanımlanması gerekir. OSDA-EM'deki çözüm uzayını temsil eden kapsama haritasının koordinatları sırasıyla (800,600) ve (-800,-600),  $A$ 'yı temsil eden kapsama haritasının toplam alanı 1920000 m<sup>2</sup> (1920 hektar),  $N_{mobil}$ 'i temsil eden alandaki mobil AP cihaz sayısı 7 adet,  $r$ 'yi temsil eden AP'lerin tarama yarıçapı 200 metre, OSDA-EM'deki  $OptUBD$ ,  $OptLBD$  ve  $MCD$  parametreleri sırasıyla  $\sqrt{4r}$ ,  $\sqrt{3.4r}$  ve  $\sqrt{2r}$ , MATLAB ortamındaki bu uygulamanın bağımsız olarak maksimum çalıştırılma sayısı ve her çalıştırmadaki maksimum iterasyon sayısı sırası ile  $N_{max-sim} = 30$  ve  $N_{max-iter} = 5000$  olarak tanımlanmıştır.

#### **4.4.2. AP'lerin mevcut konumları ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları**

Üniversitedeki mevcut binaların çatılarına rastgele olarak yerleşimi yapılan 7 adet AP cihazının kapsama haritasındaki konumları ve oluşturdukları kapsama alanları Şekil 4.20'de tespit edilerek gösterilmiştir.





Şekil 4.20. AP cihazlarının mevcut konumları: 1-Edebiyat Fakültesi, 2- Lojmanlar 6.Blok, 3-Veteriner Fakültesi A Blok, 4-Merkezi Konferans Salonu, 5- Van Meslek Yüksekokulu, 6- Eğitim Fakültesi C Blok, 7- Rektörlük Binası

Rastgele dağıtılan bu AP cihazlarının her birisinin kapsama haritasının üzerinde konumlandıkları yeri göstermek için pembe renkli düğümler, tarama yarıçaplarını göstermek için sarı renkli oklar, kapsadıkları alanı göstermek için de mavi renkli daireler temsili olarak kullanılmıştır.

Kapsama haritasının boyu ve eni 100'er metre aralıklar ile Şekil 4.20'de gösterildiği gibi Grid'lere ayrılmıştır. Dolayısıyla kapsama haritasının boyu 16, eni ise 12 eşit Grid'ten oluşmuştur. Kapsama haritasını oluşturan her bir Grid parçası ise 100x100'lük Grid noktalarından oluşmaktadır. Yani her bir Grid parçasını oluşturan Grid noktaları arasındaki mesafe 1 metredir. Yapılan örnek uygulamada kapsanan ve kapsanmayan Grid noktalarının toplamları alındığında kapsama haritasının 1922803 adet Grid noktasından oluştuğu tespit edilmiştir. 1920 hektar olarak tanımlanan ilgili alanda rastgele 7 farklı binaya yerleştirilen AP'lerin kapsadıkları bu Grid noktalar esas alındığında, alanda toplam 642315 adet Grid noktasının kapsandığı ve böylece alanın rastgele kapsanma oranının %33.40 olduğu hesaplanarak tespit edilmiştir.

Bu örnek uygulamada tanımlanan parametrelere göre, OSDA-EM ile ilgili alanın etkin bir şekilde kapsanması için MATLAB ortamında her biri bağımsız olan 30 uygulama çalıştırılıp 7 adet AP cihazının dinamik dağıtımları yapılarak kapsama haritasındaki optimum konumları Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Ayrıca bu AP cihazları tarafından kapsanmayan kapsama haritasının 8 farklı yerleşkesindeki binalar kırmızı renkli oklar ile gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Dinamik dağılımı yapılan 7 adet AP cihazının konumları ve AP’ler tarafından kapsanmayan yerleşkeler: 1-Isı Santrali ve Yapı İşleri, 2-Kredi Yurtları, 3- Edebiyat Fakültesi, 4-Lojmanlar, 5- Fen Fakültesi, 6- Merkezi Konferans Salonu, 7-Özel Kız ve Erkek Yurtları, 8- Tıp ve Eczacılık Fakülteleri ve Radyoloji Laboratuvarları

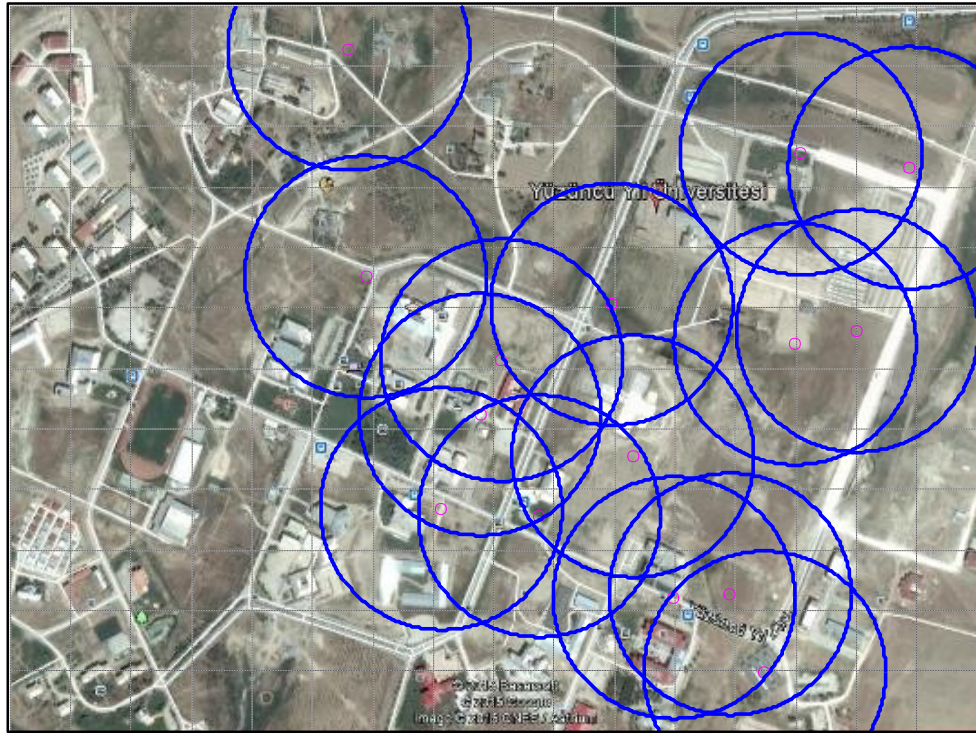
7 adet AP cihazının dinamik dağıtımı sonrasında ilgili alanda toplam 823872 adet Grid noktasının kapsandığı ve böylece dinamik dağıtım ile alanın kapsanma oranının %42.84 olduğu hesaplanmıştır.

7 Adet AP’nin Şekil 4.20’de gösterilen rastgele dağıtımı ile elde edilen 33.40 kapsanma oranı ve Şekil 4.21’de gösterilen optimum dinamik dağılımı ile elde edilen %42.84 kapsanma oranının çok düşük olduğu için ilgili alanda oluşturulan Wi-Fi’nin 1920 hektarlık bir alanda yeteri kadar etkin olamadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla OSDA-EM ile yapılan optimum dinamik dağıtım sonrasında bile ilgili alanın %57’lik

bir kısmı kapsama alanı dışında kalmıştır. Kapsama haritasının büyük bir kısmında Wi-Fi'nin oluşmadığı ve bunun sonucunda; Şekil 4.21'de kırmızı oklar ile gösterilen yerleşkeler 7 adet AP cihazının oluşturduğu kapsama alanı dışında kalacağı için bu yerleşkelerde AP cihazları ile bağlantı yapılamayacağı tespit edilmiştir. İlgili alandaki Wi-Fi'yi daha etkin olarak oluşturup bu bağlantı sorunlarını minimize etmek amacıyla; mevcut kullanılmakta olan AP cihazlarının sayısının artırılıp optimum olarak dinamik dağıtımları yapılarak etkin bir Wi-Fi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu sayede daha fazla AP cihazı ile alanın büyük oranda bir kısmı etkin olarak kapsanacaktır. Öncelikle ilgili alanda sırası ile 15, 20 ve 25 adet AP cihazı esas alınıp başlangıçtaki dağıtımları ve geliştirilen OSDA-EM ile dinamik dağıtımları 30 bağımsız uygulama ile yapılarak elde edilecek kapsama oranlarına göre kapsama haritasında Wi-Fi oluşturabilecek optimum AP cihazı sayısı tespit edilecektir.

#### 4.4.3. 15 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları

Şekil 4.22'de 15 adet AP cihazının ilgili alanda rastgele dağılımı yapılmıştır. 1920 hektar olan alanda rastgele 15 farklı konuma yerleştirilen AP'lerin kapsadıkları Grid noktalar esas alındığında, bu alanda toplam 1010406 adet Grid noktasının kapsandığı ve alanın rastgele kapsama oranının %52.54 olduğu uygulamalar ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.22. Rastgele dağıtımı yapılan 15 adet AP cihazının alandaki konumları

OSDA-EM ile 30 bağımsız uygulama çalıştırılıp ilgili alanın optimum kapsamı için 15 adet AP cihazının dinamik dağıtımları yapılarak haritadaki konumları ve bu AP'ler tarafından kapsanmayan 5 farklı yerleşkedeki binalar kırmızı renkli oklar ile Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Dinamik dağılımı yapılan 15 adet AP cihazının konumları ve kapsanmayan yerleşkeler: 1- Kredi Yurtlar (kısmen), 2- Lojmanlar (kısmen), 3- Fen Fakültesi, 4-Eğitim Fakültesi, 5-Özel Erkek Yurdu

Dinamik dağıtımı yapılan 15 adet AP cihazının ilgili alanda toplam 1559312 adet Grid noktasını kapsadığı ve böylece dinamik dağıtım sonrasında alanın kapsanma oranının %81.09 olduğu yapılan uygulamalar ile hesaplanmıştır.

#### 4.4.4. 20 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları

Şekil 4.24'de 20 adet AP cihazının alanda rastgele dağıtımı yapılmıştır. 20 farklı konuma dağılan AP'lerin kapsadıkları Grid noktalar esas alındığında, ilgili alanda toplam 1210551 adet Grid noktasının kapsandığı ve böylece alanın başlangıçtaki kapsanma oranının %62.95 olduğu yapılan uygulamalar ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.24. Rastgele dağıtımı yapılan 20 adet AP cihazının alandaki konumları



Şekil 4.25. Dinamik dağılımı yapılan 20 adet AP cihazının alandaki konumları ve kapsamayan binalar: 1-Kredi Yurtları (kısmen), 2- Prefabrik Personel Konutları, 3- Rektörlük Binası, 4- Yeşil Alan Müdürlüğü, 5- Öğrenci Kantini (Veteriner Fakültesi)

Bu örnek uygulamada, OSDA-EM tarafından ilgili alanın optimum olarak kapsanması için 20 adet AP cihazının dinamik dağılımları yapılarak kapsama haritasındaki konumları ve bu AP'ler tarafından alandaki kapsanmayan 5 farklı yerleşkedeki binalar kırmızı renkli oklar ile Şekil 4.25'de gösterilmiştir.

Dinamik dağıtımı yapılan 20 adet AP cihazının ilgili alanda toplam 1755818 adet Grid noktasını kapsadığı ve böylece dinamik dağıtım sonrasında alanın kapsanma oranının %91.35 olduğu yapılan uygulamalar ile hesaplanmıştır.

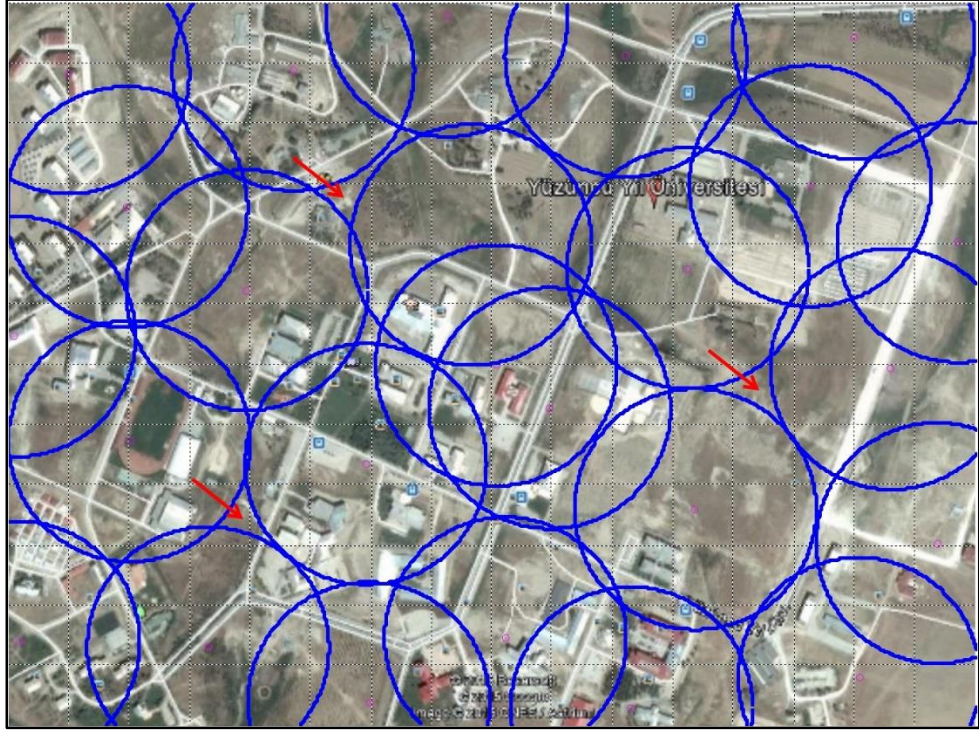
#### 4.4.5. 25 adet AP'nin rastgele dağılımı ve OSDA-EM ile dinamik dağıtımları

Şekil 4.26'da 25 adet AP cihazının ilgili alanda rastgele dağılımı yapılmıştır. Farklı konumlara dağılan AP'lerin kapsadıkları Grid noktalar esas alındığında, ilgili alanda toplam 1330858 adet Grid noktasının kapsandığı ve böylece alanın başlangıçtaki kapsanma oranının %69.21 olduğu yapılan uygulamalar ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.26. Rastgele dağıtımı yapılan 25 adet AP cihazının alandaki konumları

Bu örnek uygulamada, OSDA-EM ile ilgili alanın optimum olarak kapsanması için 25 adet AP cihazının dinamik dağılımları yapılarak kapsama haritasındaki konumları Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Dinamik dağılımı yapılan 25 adet AP cihazının alandaki konumları

Şekil 4.27’de kırmızı renkli oklar ile vurgulanan alanlar kapsama haritası içerisinde olan, fakat öğrenci veya personelin kullanmadığı herhangi bir yerleşkenin dışında kalan boş araziye göstermektedir.

Dinamik dağılımı yapılan 25 adet AP cihazının ilgili alanda toplam 1890469 adet Grid noktasını kapsadığı ve böylece dinamik dağılım sonrasında alanın kapsama oranının %98.31 olduğu yapılan uygulamalar ile hesaplanmıştır.

#### 4.4.6. Örnek uygulamadan elde edilen sonuçlar

Google Earth programı ile Yüzüncü Yıl Üniversitesinin Merkez Kampüsünün uydudan görüntülenen yerleşkesinde, AP’ler tarafından oluşturulması hedeflenen optimum Wi-Fi için yapılan uygulama çalışmalarının sonuçları Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. AP'lerin dinamik dağıtımlarının uygulama sonuçları

Mevcut AP Sayısı	Başlangıç		Dinamik Dağıtım Sonrası		
	Optimum olan AP Sayısı	Kapsanma Oranı (%)	Kapsanan Grid noktalarının sayısı	Kapsanma Oranı (%)	Optimum olan AP Sayısı
7	1	33.40	823872	42.84	7
15	1	52.54	1559312	81.09	14
20	1	62.95	1755818	91.35	18
<b>25</b>	<b>3</b>	<b>69.21</b>	<b>1890469</b>	<b>98.31</b>	<b>24</b>

Örnek uygulamadan elde edilen sonuçlara göre, kapsama haritasında Wi-Fi oluşturmak için önceden kurulan ve gelişigüzel olarak dağıtılan 7 adet dış ortam AP cihazı ile 1920 hektarlık alanın sadece %33.40 oranında bir kısmının kapsanabildiği tespit edilmiştir. Kapsama haritasının çok düşük olan bu kapsanma oranını artırmak amacıyla tez çalışmasında önerilen OSDA-EM'nin 7 adet AP'ye uygulanarak dinamik dağıtımlarının yapılması sonucunda; sadece %9'luk bir artış ile %42.84 oranında ilgili alanın kapsanabilmesi sağlanabilmiştir. Dinamik dağılıma rağmen alanın kapsanma oranının düşük olmasının nedeni tanımlanan 1920 hektarlık alanda etkin bir şekilde Wi-Fi oluşturmak için yeteri kadar AP cihazının olmamasıdır. Bu nedenle tanımlı alanın büyük oranda bir kısmının AP'ler tarafından kapsanarak etkin Wi-Fi oluşturulması amacıyla; alana sırası ile 15, 20 ve 25 adet AP cihazı yerleştirilerek dinamik dağıtımlarını gerçekleştiren uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda 25 adet AP cihazı ile ilgili alanda dinamik dağıtımlarının yapılması durumunda alanın optimum olarak %98.31 oranında kapsanabileceği ve OSDA-EM'de tanımlanan parametreler esas alındığında 24 adet AP'nin dinamik dağıtım sonrasında alanda optimum konuma yerleştiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Kampüsünde belirlenen 1920 hektarlık bir alanın açık ortam yerleşkesinde etkin bir Wi-Fi oluşturmak amacıyla dış ortam özelliği olan toplam 25 adet AP cihazının dinamik dağıtımlarının, bu tez çalışmasında geliştirilen ve optimum dinamik dağıtım yaptığı uygulamalar ile ispat edilen OSDA-EM tarafından yapılması durumunda kapsama haritasında kapalı yerleşke dışındaki açık ortamların %98 oranında optimum olarak kapsandığı MATLAB ortamında yapılan uygulamalar ile tespit edilmiştir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, KAA'lardaki QoS'in bir ölçütü olan alanın kapsanma oranının optimum olabilmesi için mevcut olan algılayıcı tarama modelleri [20-22] kullanılarak yeni bir dinamik dağıtım yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen ve OSDA-EM olarak isimlendirilen bu yöntem, önceden literatürde çalışılan ve algılayıcıların dinamik dağıtımına uygulanan orijinal ABC ve PSO algoritmaları [21-22] ile elde edilen uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve geliştirilen bu yöntemin performansı ve etkinliği ölçülmüştür.

Meta-sezgisel bir algoritma olan ve çözüm uzayındaki parçacıkların elektromanyetik ortamda hareketi prensibine göre çalışan EM algoritması [60] esas alınarak OSDA-EM [63-64] geliştirilmiştir. EM algoritmasındaki parçacıkların algılayıcı düğüm olarak, çözüm uzayının da algılayıcı alan olarak temsil edildiği OSDA-EM ilgili alandaki algılayıcı düğümlerin optimum olarak dinamik dağıtımlarının yapılabilmesi amacıyla EM algoritmasındaki parçacıkların hareket etme koşullarında kısmi değişiklik yapılaraktan tasarlanmıştır.

İlgili alanda rastgele dağıtım sonrası algılayıcı düğümlerin dinamik dağıtımlarının geliştirilen OSDA-EM ile yapılması sonrasında mevcut konumlarına göre optimum olmadığı tespit edilen mobil algılayıcıların yeniden dinamik dağıtımları yapılarak optimum olan mobil algılayıcılar belirlenir. Eğer herhangi bir mobil algılayıcı optimum konuma yerleşir ise, sonraki iterasyonlarda mevcut konumu değiştirilmeden optimum konumu korunur. Sonuç olarak; algılayıcılar hızla birbirine yakınsayarak alanın kısa bir sürede optimum olarak kapsanması sağlanır.

Geliştirilen OSDA-EM tarafından ilgili alandaki algılayıcıların dinamik dağıtımları yapıldığında, algılayıcıların optimum olma şartları esas alınarak alandaki *OptMSN* hesaplanmıştır. Hem İkili hem de Olasılıksal Tarama Modeli için OSDA-EM ile yapılan uygulamalarda hesaplanan *OptMSN* arttıkça alanın kapsanma oranında da artış olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla OSDA-EM'de tanımlanan uzaklık parametreleri esas alınarak mobil algılayıcıların dinamik dağıtım sonrasında optimum konuma yerleşen algılayıcılar arası Öklid mesafesinin  $\sqrt{3}r$  olması veya bu değere yaklaşması alanın etkin olarak kapsanması açısından optimum çözümü sunacaktır.

Bu tez çalışmasında, ilkin İkili Tarama Modeli esas alınarak 100 mobil algılayıcının 10000 m<sup>2</sup>'lik algılayıcı alanda dinamik dağıtımı yapılmıştır. OSDA-EM'de tanımlanacak olan optimum uzaklık parametrelerinin tespiti amacıyla örnek çalışmalar yapılmıştır. Bu örnek çalışmalara göre, başlangıçta rastgele dağıtımı yapılan 100 mobil algılayıcıdan ortalama olarak sadece 9'u optimum konumda olduğu tespit edilirken, OSDA-EM ile yapılan dinamik dağıtımda 200 iterasyon sonunda 91 mobil algılayıcının optimum konuma yerleştiği tespit edilmiştir. Örnek çalışmalarda uzaklık parametrelerinin tanımlı olduğu *Senaryo 2*; optimum konuma yerleşen algılayıcı sayısı, alanın ortalama kapsama oranı, uygulamaların ortalama çalışma zamanı ve minimum enerji tüketimi açısından uygulamalarda optimum çözümü sunmuştur.

İkili Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda *Senaryo 2*'deki uzaklık parametreleri esas alındığında, ilgili alanda oluşan  $k$ -kapsama derecesinin *Senaryo 1*'e göre optimum olduğu tespit edilmiştir. *Senaryo 1* ile yapılan dinamik dağıtımda  $r$  tarama yarıçapları çakışan algılayıcıların kapsadığı Grid noktası sayılarının toplamı 3550, *Senaryo 2*'de ise 3186 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla *Senaryo 2* hem oluşan  $k$ -kapsama derecesi bakımından hem de kapsanan Grid noktası sayısı bakımından optimum çözüm sunarak algılayıcıların enerji tüketimlerini ve ağıın yaşam süresini optimize etmiştir.

İkili Tarama Modelinde alanın optimum olarak kapsanması amacıyla *OptNSN* parametresinin ardışık olarak 1'den 4'e kadar artırılarak tanımlanması durumunda ilgili alanın ortalama olarak aynı oranlarda kapsanabilmesi için uygulamanın daha fazla iterasyon ile çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir. Fakat iterasyon sayısı artırılrsa bile alanın kapsama oranında önemli bir artış olmadığı da ortaya çıkmıştır. Bu nedenle algılayıcıların birbirine hızla yakınsamalarını sağlamak için  $OptNSN \geq 1$  olarak tanımlandığında, sadece 56 iterasyonda %90.29 kapsama oranına ulaşılmış ve çalışma zamanı bakımından optimum çözümü sunmuştur.

OSDA-EM'nin İkili Tarama Modelindeki performansını ölçmek amacıyla orijinal ABC ve PSO algoritmaları ile yapılan karşılaştırmada güvenilir sonuçlar elde etmek için;  $A$ ,  $N_{mobil}$  ve  $r$  değerlerinin aynı olması şartıyla bağımsız 20 MATLAB uygulaması çalıştırılıp, başlangıçtaki rastgele dağıtım oranı karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha düşük alınarak %74.75 olarak belirlenmiştir. Optimum çözüm

sunan *Senaryo 2* ile uygulamalar sırası ile 100, 500, 2000, 5000 ve 10000 iterasyon ile çalıştırıldığında OSDA-EM ile optimum sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamalarda 10000 iterasyon çalıştırılması durumunda, OSDA-EM [64] ile ilgili alan %99.66 oranında optimum olarak kapsandığında algılayıcıların toplam hareket mesafeleri 4779 metre iken, ABC algoritması [22] ile ilgili alan %98.63 oranında kapsanarak algılayıcılar toplam 5216 metre hareket etmekte, PSO algoritmasında [22] ise en kötü kapsama oranı elde edildiğinden toplam hareket mesafesi karşılaştırılamamıştır.

Bu tez çalışmasında, Olasılıksal Tarama Modeli [21,68] esas alınarak 80 mobil ve 20 statik algılayıcının 10000 m<sup>2</sup>'lik algılayıcı alanda dinamik dağıtım yapılmıştır. Bu modelde alandaki her bir Grid noktasının optimum olarak taranabilmesi amacıyla ölçüm parametreleri olan  $\lambda$  ve  $\beta$  sırası ile 0.25 ve 0.45 olarak tanımlandığında algılayıcılar tarafından herhangi bir Grid noktasının  $r + r_e$  mesafesine kadar minimum %55 TO ile tarandığı hesaplanmıştır.

Olasılıksal Tarama Modeli ile alandaki her bir Grid noktasının kapsanma durumu hesaplanırken algılayıcıların tarama yarıçapı ile belirsiz tarama aralığı esas alınarak TO hesaplanmıştır. Bu oran, OSDA-EM'de %60 olarak tanımlanan  $c_{th}$  ile karşılaştırılarak her bir Grid noktasının etkin kapsanma durumu belirlenip alanın toplam kapsanma oranı hesaplanmıştır. Bu uygulama sonuçlarına göre, ilgili alanın en iyi ve ortalama kapsanma oranları %99.76 ve %98.76 olarak hesaplanmış ve karşılaştırılan orjinal ABC ve PSO algoritmalarına göre optimum dinamik dağıtım yaptığı tespit edilmiştir.

Olasılıksal Tarama Modelinin ölçüm parametreleri olan  $\lambda$  ve  $\beta$  optimum olarak 0.25 ve 0.45 değerleri ile tanımlandığında ve kapsama alanları çakışan herhangi iki algılayıcı arasındaki eşik mesafesi  $r - r_e \leq d_{th} \leq r + r_e$  aralığında değiştikçe, iki ve daha fazla algılayıcının ( $k \geq 2$ ) çakışma alanında bulunan herhangi bir Grid noktasının TO değeri minimum %87.36 olarak hesaplanmıştır ve bu oranın karşılaştırılması yapılan diğer ölçüm parametre değerlerine göre optimum olduğu tespit edilmiştir.

Olasılıksal Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda OSDA-EM'de tanımlanan uzaklık parametrelerinin optimum olanının tespiti amacıyla örnek çalışmalar yapılmıştır. Başlangıçta rastgele dağıtım yapılan 20 mobil algılayıcıdan

ortalama olarak sadece 4 algılayıcı optimum konumda bulunurken, OSDA-EM ile yapılan dinamik dağılımda 100 iterasyonun sonunda ortalama olarak 18 algılayıcının optimum konuma yerleştiği tespit edilmiştir. Örnek çalışmalardaki uzaklık parametrelerinin tanımlı olduğu *Senaryo 2*; optimum konuma yerleşen mobil algılayıcı sayısı, alanın ortalama kapsanma oranı, uygulamaların ortalama çalışma zamanı ve minimum enerji tüketimi açısından uygulamalarda optimum çözümü sunmuştur.

Olasılıksal Tarama Modelinde alanın optimum olarak kapsanması amacıyla *OptNSN* parametresinin ardışık olarak 1'den 4'e kadar artırılarak tanımlanması durumunda uygulamanın daha fazla iterasyon ile çalıştırılmasına rağmen hesaplanan ortalama kapsanma oranının azaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla algılayıcıların birbirine hızla yakınsamalarını sağlamak için  $OptNSN \geq 1$  olarak tanımlanması durumunda sadece 176 iterasyon çalıştırılarak ilgili alanda %98.21 olarak hesaplanan optimum kapsanma oranına ulaşılmış ve hem elde edilen *OptMSN* hem de uygulamanın çalışma zamanı bakımından optimum çözüme ulaşılmıştır.

Olasılıksal Tarama Modeli ile yapılan dinamik dağıtımda  $2 \leq k \leq 7$  aralığında hesaplanan her bir  $k$ -kapsama dereceleri esas alındığında; *Senaryo 1* ile yapılan dinamik dağıtımda çakışan Grid sayılarının toplamı 3770, *Senaryo 2*'de ise 3526 olarak hesaplanmıştır. İlgili alanda oluşan hem  $k$ -kapsama derecesi bakımından hem de çakışan algılayıcıların kapsadığı Grid noktası sayılarının toplamı bakımından *Senaryo 2*; alandaki mobil algılayıcıların enerji tüketimini optimize ederek ağın yaşam süresini *Senaryo 1*'e göre uzatmıştır.

Geliştirilen OSDA-EM'nin Olasılıksal Tarama Modelindeki performansını ölçmek amacıyla orijinal ABC ve PSO algoritmaları ile yapılan karşılaştırmada daha güvenilir sonuçlar elde etmek için;  $A$ ,  $N_{mobil} + N_{statik}$ ,  $r$  ve  $r_e$  değerlerinin aynı olması şartıyla bağımsız 30 MATLAB uygulaması çalıştırılıp, algılayıcıların başlangıçtaki rastgele dağıtım oranı diğer algoritmalarından daha düşük alınarak %82.34 olarak belirlendiğinde, 1000 iterasyon sonunda OSDA-EM ile ortalama %98.76 olarak hesaplanan optimum kapsanma oranı elde edilmiştir. Ayrıca OSDA-EM ile algılayıcıların optimum dağıtımına sadece 176 iterasyonda ulaşılrken, orijinal ABC algoritması [22] ile 703 iterasyonda ve PSO algoritması [22] ile 901 iterasyonda ulaşmıştır.

Yüzüncü Yıl Üniversitesinin Merkez Kampüs alanı esas alınarak yapılan gerçek ortamdaki örnek bir uygulamada 1920 hektar olarak tanımlanan kapsama haritasında Wi-Fi oluşturmak amacıyla daha önceden gelişigüzel olarak kurulan 7 adet AP cihazı ile ilgili alanın sadece %33.40 oranında kapsanabildiği, bu tez çalışmasında geliştirilen OSDA-EM ile AP'lerin yapılan dinamik dağıtımlarında alanın optimum olarak sadece %42.84 oranında kapsanabileceği hesaplanmıştır. Fakat dinamik dağıtım sonrasında bile ilgili alanın hesaplanan kapsama oranının, etkin bir Wi-Fi oluşturmada yetersiz kalacağı ve 7 adet AP ile kapsama haritasında bağlantı sorunlarının oluşacağı tespit edilmiştir. Bu bağlantı sorununu çözerek etkin bir Wi-Fi oluşturulması amacıyla; tanımlanan ilgili alanda aynı özelliklere sahip olan 25 adet AP cihazının kullanılması durumunda kapsama haritasının %98 oranında kapsanarak optimum çözüme ulaşılabileceği MATLAB ortamında yapılan 30 bağımsız uygulama ile tespit edilmiştir.

#### **TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR**

**ÖZDAĞ R.**, KARCI A., “The Application of Electromagnetism-like Algorithm for the Dynamic Deployment Problem in Wireless Sensor Networks” , 2<sup>nd</sup> International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications, SARAJEVO, BOSNIA, 26-29 AUGUST 2013, 199-200.

**ÖZDAĞ R.**, KARCI A., “Elektromagnetizma-Like Algoritması ile Kablosuz Algılayıcı Ağların Olasılıksal Dinamik Dağıtımları”, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Karabük, Turkey, June 18-20, (2014), pp.368-377.

**ÖZDAĞ R.**, KARCI A., “Sensor Node Deployment Based on Electromagnetism-Like Algorithm in Mobile Wireless Sensor Networks” , International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol.2015, Article ID 507967, 15 pages, 2015. (doi:http://dx.doi.org/10.1155/2015/507967 , SCI-EXP)

**ÖZDAĞ R.**, KARCI A., “Probabilistic Dynamic Distribution of Wireless Sensor Networks with Improved Distribution Method based on Electromagnetism-Like Algorithm”, Measurement (2015), **Basımda** (doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.09.056 , SCI-EXP)

## 6. KAYNAKLAR

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, *Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks*, Proceedings of ACM MobiCom '00, Boston, USA, (2000), pp.56-67.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, *Wireless sensor networks: a survey*, **Computer Networks**, 38:4 (2002) 393-422.
- [3] V. Pilloni, L. Atzori, *Deployment of Distributed Applications in Wireless Sensor Networks*, **Sensors**, 11:8 (2011) 7395–7419.
- [4] N. Aitsaadi, N. Achir, K. Boussetta, G. Pujolle, *Artificial potential field approach in WSN deployment: Cost, QoM, connectivity, and lifetime constraints*, **Computer Networks**, 55:1 (2011) 84–105.
- [5] S.S. Dhillon, K. Chakrabarty, *Sensor Placement for Effective Coverage and Surveillance in Distributed Sensor Networks*, Proceedings of WCNC '03, New Orleans, LA, USA, March 20, (2003), pp.1609-1614.
- [6] N. Heo, P.K. Varshney, *A distributed self spreading algorithm for mobile wireless sensor networks*. Proceedings of WCNC '03, New Orleans, LA, USA, March 20, (2003), pp.1597-1602.
- [7] G. Molina, E. Alba, *Wireless Sensor Network Deployment Using a Memetic Simulated Annealing*, Proceedings of SAINT '08, Turku, Finland, July 28-Aug. 1, (2008), pp.237-240.
- [8] Y. Zou, K. Chakrabarty, *Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces*, Proceedings of INFOCOM '03, San Francisco, CA, USA, March 30-April 3, (2003), pp.1293-1303.
- [9] X. Yu, W. Huang, J. Lan, X. Qian, *A Novel Virtual Force Approach for Node Deployment in Wireless Sensor Network*, Proceedings of DCOSS '12, Hangzhou, China, May 16-18, (2012), pp.359–363.
- [10] G. Qi, P. Song, K. Li, *Blackboard Mechanism Based Ant Colony Theory for Dynamic Deployment of Mobile Sensor Networks*, **J Bionic Eng**, 5:3 (2008) 197-203.
- [11] C. H. Wu, K. C. Lee, Y. C. Chung, *A delaunay triangulation based method for wireless sensor network deployment*, Proceedings of ICPADS '06, Minneapolis, MN, USA, July 12, (2006), pp.253–260.
- [12] Z. Li, L. Lei, *Sensor node deployment in wireless sensor networks based on improved particles swarm optimization*, Proceedings of ASEMD '09, Chengdu, China, Sept. 25-27, (2009), pp.215-217.
- [13] X. Wang, S. Wang, J.J. Ma, *Dynamic deployment optimization in wireless sensor networks*, Proceedings of ICIC '06, Kunming, China, Aug., (2006), pp.182-187.
- [14] N. Kukururu, B.R. Thella, R.L. Davuluri, *Sensor Deployment Using Particle Swarm Optimization*, **Int. J. Eng. Sci. Technol**, 2:10 (2010) 5395-5401.
- [15] A. Gopakumar and L. Jacob, *Localization in wireless sensor networks using particle swarm optimization*, IET Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Beijing, China, Jan. 11-12, (2008), pp.227–230.

- [16] K.S. Low, H.A. Nguyen, H. Guo, *A particle swarm optimization approach for the localization of a wireless sensor network*, Proceedings of ISIE '08, Cambridge, England, June 30-July 2, (2008), pp.1820–1825.
- [17] X. Wang, S. Wang, J.J. Ma, *An improved co-evolutionary particle swarm optimization for wireless sensor networks with dynamic deployment*, **Sensors**, 7:3 (2007) 354-370.
- [18] N. Ahmed, S.S. Kanhere, S. Jha, *A pragmatic approach to area coverage in hybrid wireless sensor networks*, **Wirel. Commun. Mob. Comput**, 11:1 (2011) 23–45.
- [19] G. Wang, L. Guo, H. Duan, L. Liu, H. Wang, *Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks by Biogeography Based Optimization Algorithm*, **J. Sens. Actuator Netw**, 1:2 (2012), 86–96.
- [20] C. Öztürk, D. Karaboğa, B. Görkemli, *Artificial bee colony algorithm for dynamic deployment of wireless sensor networks*, **Turk J Elec Eng & Comp Sci**, 20:2 (2012), 255–262.
- [21] C. Ozturk, D. Karaboga, B. Gorkemli, *Probabilistic Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks by Artificial Bee Colony Algorithm*, **Sensors**, 11:6 (2011), 6056–6065.
- [22] X. Yu, J. Zhang, J. Fan, T. Zhang, *A Faster Convergence Artificial Bee Colony Algorithm in Sensor Deployment for Wireless Sensor Networks*, **INT J DISTRIB SENS N**, vol. 2013 (2013), 9 pages.
- [23] N. Bulusu, D. Estrin, L. Girod, J. Heidemann, *Scalable coordination for wireless sensor networks: self-configuring localization systems*, Proceedings of ISCTA '01, Ambleside, UK, July 15, (2001).
- [24] A. Cerpa, D. Estrin, *ASCENT: Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies*, **IEEE T MOBILE COMPUT**, 3:3 (2004) 272-285.
- [25] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, J. Zhao, *Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology*, Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, San Francisco, USA, April, (2001), pp.20-41.
- [26] W.R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, *Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks*, Proceedings of ACM MobiCom '99, Seattle, Washington, USA, Aug. 15-20, (1999), pp.174–185.
- [27] S. Slijepcevic, M. Potkonjak, *Power efficient organization of wireless sensor networks*, IEEE International Conference on Communications ICC '01, Helsinki, Finland, June 11-14, (2001), pp.472-476.
- [28] N. Noury, T. Herve, V. Rialle, G. Virone, E. Mercier, G. Morey, A. Moro, T. Porcheron, *Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors*, 1<sup>st</sup> Annual International Conference On Microtechnologies in Medicine and Biology, Lyon, France, Oct. 12-14, (2000), pp.607–610.
- [29] G.D. Abowd, J.P.G. Sterbenz, *Final report on the inter-agency workshop on research issues for smart environments*, **IEEE PERS COMMUN**, 7:5 (2000) 36–40.

- [30] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, S. Kumar, *Next century challenges: scalable coordination in sensor networks*, Proceedings of ACM MobiCom '99, Seattle, Washington, USA, Aug., (1999), pp.263–270.
- [31] G.J. Pottie, W.J. Kaiser, *Wireless Integrated Network Sensors*, **COMMUN ACM**, 43:5 (2000) 51–58.
- [32] I.F. Akyildiz and M.C. Vuran, *Wireless Sensor Networks*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2010, p. 75-98.
- [33] G. Hoblos, M. Staroswiecki, A. Aitouche, *Optimal design of fault tolerant sensor networks*, Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Control Applications, Anchorage, AK, USA, Sept. 25-27, (2000), pp.467–472.
- [34] C.C. Shen, C. Srisathapornphat, C. Jaikaeo, *Sensor information networking architecture and applications*, **IEEE PERS COMMUN**, 8:4 (2001) 52–59.
- [35] S. Cho, A.P. Chandrakasan, *Energy-efficient protocols for low duty cycle wireless microsensor*, Proceedings of ICASSP '01, Salt Lake City, UT, USA, May 7-11, (2001), pp.2041-2044.
- [36] E. Shih, S.H. Cho, N. Ickes, R. Min, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan, *Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks*, Proceedings of ACM MobiCom '01, Rome, Italy, July 15-21, (2001), pp.272-287.
- [37] E.M. Petriu, N.D. Georganas, D.C. Petriu, D. Makrakis, V.Z. Groza, *Sensor-based information appliances*, **IEEE INSTRU MEAS MAG**, 3:4 (2000) 31-35.
- [38] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, M. B. Srivastava, *Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks*, Proceedings of INFOCOM '01, Anchorage, AK, USA, Apr. 22-27, (2001), pp.1380-1387.
- [39] A.S. Porret, T. Melly, C.C. Enz, E.A. Vittoz, *A low-power low-voltage transceiver architecture suitable for wireless distributed sensors network*, Proceedings of ISCAS '00, Geneva, Switzerland, May 28-31, (2000), pp.56-59.
- [40] R. Want, K.I. Farkas, C. Narayanaswami, *Guest Editors' Introduction: Energy Harvesting and Conservation*, **LECT NOTES COMPUT SC**, 4:1 (2005) 14-17.
- [41] A. Sangwan, R.P. Singh, *Survey on Coverage Problems in Wireless Sensor Networks*, **WIRELESS PERS COMMUN**, 80:4 (2015) 1475-1500.
- [42] Z. Zhou, Z. Huang, Q. Liu, Y. Zhou, *A study on the coverage problem in wireless sensor network*, Proceedings of ICWMNN '06, Hangzhou, China, Nov. 6-9, (2006), pp.1-3.
- [43] G. Fan, S. Jin, *Coverage Problem in Wireless Sensor Network: A Survey*, **J ALGORITHM**, 5:9 (2010) 1033-1040.
- [44] Y. Lei, Y. Zhang, Y. Zhao, *The Research of Coverage Problems in Wireless Sensor Network*, Proceedings of WNIS '09, Shanghai, China, Dec. 28-29, (2009), pp.31-34.
- [45] R. Mulligan, H.M. Ammari, *Coverage in Wireless Sensor Networks: A Survey*, **Network Protocols and Algorithms**, 2:2 (2010) 27-53.



- [46] A. Ghosh, S.K. Das, *Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey*, **Pervasive and Mobile Computing**, 4:3 (2008) 303-334.
- [47] L. Li, B. Zhang, X. Shen, J. Zheng, Z. Yao, *A study on the weak barrier coverage problem in wireless sensor networks*, **COMPUT NETW**, 55:3 (2011) 711-721.
- [48] C.J. Luo, B. Tang, M.T. Zhou, Z. Cao, *Analysis of the wireless sensor networks efficient coverage*, Proceedings of ICACIA '10, Chengdu, China, Dec. 17-19, (2010), pp.194-197.
- [49] X. Wang, S. Zhang, *Research on Efficient Coverage Problem of Node in Wireless Sensor Networks*, Proceedings of ISECS '09, Nanchang, China, May 22-24, (2009), pp.532-536.
- [50] X. Wang, S. Zhang, *Comparison of several sensor deployments in wireless sensor networks*, 2010 International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies, Shenzhen, China, Apr. 17-18, (2010), pp.236-239.
- [51] A.M. So, Y. Ye, *On solving coverage problems in a wireless sensor network using voronoi diagrams*, Proceedings of WINE '05, Hong Kong, China, Dec. 15-17, (2005), pp.584-593.
- [52] G. Wang, G. Cao, T.F. La Porta, *Movement-Assisted Sensor Deployment*, **IEEE T MOBILE COMPUT**, 5:6 (2004) 640-652.
- [53] J. Wang, M. Liu, M. Lu, X. Zhang, *Target coverage algorithms with multiple sensing ranges in wireless sensor networks*, Proceedings of MILCOM '10, San Jose, CA, USA, Oct. 31 - Nov. 3, (2010), pp.130-135.
- [54] H.M. Ammari, J. Giudici, *On the connected k-coverage problem in heterogeneous sensor nets: The curse of randomness and heterogeneity*, Proceedings of ICDCS '09, Montreal, QC, Canada, June 22-26, (2009), pp.265-272.
- [55] H.M. Ammari, S.K. Das, *Scheduling protocols for Homogeneous and Heterogeneous k-Covered Wireless Sensor Networks*, **Pervasive and Mobile Computing**, 7:1 (2011) 79-97.
- [56] C. Zhu, C. Zheng, L. Shu, G. Han, *A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks*, **J NETW COMPUT APPL**, 35:2 (2012) 619-632.
- [57] S. Megerian, F. Koushanfar, G. Qu, G. Veltri, M. Potkonjak, *Exposure in Wireless Sensor Networks: Theory and Practical Solutions*, **WIREL NETW**, 8:5 (2002) 443-454.
- [58] G. Veltri, Q. Huang, G. Qu, M. Potkonjak, *Minimal and maximal exposure path algorithms for wireless embedded sensor networks*, Proceedings of SENSYS '03, Los Angeles, CA, USA, Nov. 5-7, (2003), pp.40-50.
- [59] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, M. Potkonjak, *Exposure in wireless ad-hoc sensor networks*, Proceedings of MobiCom '01, Rome, Italy, July 16, (2001), pp.139-150.
- [60] S.I. Birbil, S.C. Fang, *An Electromagnetism-like Mechanism for Global Optimization*, **J GLOBAL OPTIM**, 25:3 (2003) 263-282.

- [61] A. Yurtkuran, E. Emel, *A new Hybrid Electromagnetism-like Algorithm for capacitated vehicle routing problems*, **EXPERT SYST APPL**, 37:4 (2010) 3427-3433.
- [62] F. Jolia, R.T. Moghaddam, A. Golmohammadi, B. Javadi, *An Electromagnetism-like algorithm for cell formation and layout problem*, **EXPERT SYST APPL**, 39:2 (2012) 2172-2182.
- [63] R. Özdağ, A. Karıcı, *The Application of Electromagnetism-like Algorithm for the Dynamic Deployment Problem in Wireless Sensor Networks*, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications (IECMSA '13), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Aug. 26-29, (2013), pp.199-200.
- [64] R. Özdağ, A. Karıcı, *Sensor Node Deployment Based on Electromagnetism-Like Algorithm in Mobile Wireless Sensor Networks*, **INT J DISTRIB SENS N**, vol. 2015 (2015) 15 pages.
- [65] C.H. Lee, F.K. Chang, Y.C. Lee, *An Improved Electromagnetism-like Algorithm for Recurrent Neural Fuzzy Controller Design*, **INT J FUZZY SYST**, 12:4 (2010) 280-290.
- [66] K. Chakrabarty, S.S. Iyengar, H. Qi, E. Cho, *Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks*", **IEEE T COMPUT**,51:12 (2002) 1448-1453.
- [67] K. Chakrabarty, S.S. Iyengar, H. Qi, E. Cho, *Coding theory framework for target location in distributed sensor networks*, Proceedings of International Symposium on Information Technology: Coding and Computing, Las Vegas, N, USA, Apr. 2-4, (2001), pp.130-134.
- [68] R. Özdağ, A. Karıcı, *Elektromagnetizma-Like Algoritması ile Kablosuz Algılayıcı Ağların Olasılıksal Dinamik Dağıtımları*, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Karabük, Turkey, June 18-20, (2014), pp.368-377.
- [69] W.H. Liao, Y. Kao, R.T. Wu, *Ant colony optimization based sensor deployment protocol for wireless sensor networks*, **EXPERT SYST APPL**, 38:6 (2011) 6599-6605.
- [70] Y. Shi, R. Eberhart, *A modified particle swarm optimizer*, Proceedings of ICEC '98, Anchorage, Alaska, USA, May 4-9, (1998), pp.69-73.
- [71] R.V. Kulkarni, G.K. Venayagamoorthy, *Particle Swarm Optimization in Wireless-Sensor Networks: A Brief Survey*, **IEEE T SYST MAN CY C**, 41:2 (2011) 262-267.
- [72] D. Li, J. Cao, M. Liu, Y. Zheng, *K-Connected Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks*, Proceedings of the 1st international conference on Combinatorial optimization and applications (COCOA '07), Xi'an, China, August 14-16, (2007), pp.20-31.
- [73] H.M. Ammari, S.K. Das, *Centralized and Clustered k-Coverage Protocols for Wireless Sensor Networks*, **IEEE T COMPUT**, 61:1 (2012) 118-133.

## ÖZGEÇMİŞ

- Ad Soyad** : Recep ÖZDAĞ
- Doğum Yeri ve Tarihi** : Van – 06.06.1978
- Adres** : Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi - Van
- E-Posta** : [rozdag@yyu.edu.tr](mailto:rozdag@yyu.edu.tr), [rozdag@gmail.com](mailto:rozdag@gmail.com)
- Lisans** : Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Bilgisayar Eğitimi (2000)
- Yüksek Lisans** : Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ABD.
- Mesleki Deneyimler** :Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ahlat Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi (2001-2004)
- Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi (2004- devam ediyor)
- Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, Bilgisayar Ağlarından Sorumlu Md. Yardımcısı (2011- devam ediyor)

## **TEZDEN TÜRETİLMİYEN YAYIN LİSTESİ**

**ÖZDAĞ R.**, “Akıllı Ev Otomasyon Sistemi ve İnternet Üzerinden Uygulaması”, I. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu, Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, 16-18 Mayıs 2007

**ÖZDAĞ R.**, “Ulusal Güvenlik Alanında Veri Madenciliği Uygulamaları”, 1<sup>st</sup> International Symposium on Digital Forensics and Security, Elazığ, Turkey, 20-21 May 2013, 335-340.