



**KABLOSUZ ALGILAYICI AĐ TABANLI KRİTİK ALAN GÖZETLEME  
SİSTEMLERİNDE ETKİN GÜVENLİ HEDEF İZLEME**

**Serkan AKBAĐ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2014**

Serkan AKBAŞ tarafından hazırlanan “KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ TABANLI KRİTİK ALAN GÖZETLEME SİSTEMLERİNDE ETKİN GÜVENLİ HEDEF İZLEME” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Suat ÖZDEMİR

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**Başkan :** Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**Üye :** Doç. Dr. Süleyman TOSUN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 14 / 07 / 2014

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

.....  
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

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

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

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

Serkan AKBAŞ

14 Temmuz 2014

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ TABANLI  
KRİTİK ALAN GÖZETLEME SİSTEMLERİNDE ETKİN GÜVENLİ HEDEF İZLEME  
(Yüksek Lisans Tezi)

Serkan AKBAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2014

ÖZET

Son yıllarda algılayıcı teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte kablosuz algılayıcı ağlar, gözetleme ve takip gibi çeşitli uygulamalar için düşük maliyetli çözümler sunmaktadır. Bu uygulamaların çoğunda yönlü algılayıcılar kullanılmakta ve algılayıcı düğümlerin insanların ulaşamayacağı ortamlarda otonom olarak çalışmaları istenmektedir. 360 derecelik algılama kapasitesine sahip algılayıcıların aksine, yönlü algılayıcılarda hedef tespit ve takip doğruluğunu arttırmak için yerleştirme yaklaşımları oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle tez çalışmasının ilk aşamasında hedef tespit ve takip uygulamalarında sıklıkla kullanılan Pasif KızılÖtesi (PKÖ) hareket algılayıcıları için yerleştirme yaklaşımları kapsama problemi açısından analiz edilmiş ve PKÖ algılayıcı yerleştirme problemi, hesaplanabilir geometrik alanlara dayalı yerleştirme yaklaşımları kullanılarak ele alınmıştır. Önerilen yerleştirme şemalarının performansları Java tabanlı benzetim ortamında değerlendirilmiştir. Hedef tespit ve takip sistemleri, kritik öneme sahip kablosuz algılayıcı ağlar için önemli uygulamalardan bir tanesidir. Bu tür uygulamalarda algılayıcı düğümler, veri bütünlüğünü ve güvenliğini bozmak amacıyla çeşitli ataklarla saldırganlar tarafından ele geçirilebilir. Özellikle sınır güvenliği gibi kritik alan gözetleme uygulamalarında bu tür saldırılar, telafi edilemeyecek tahribatlara sebep olabilir. Tez çalışmasının ikinci aşamasında bu saldırıları engellemek için Beta İtibar ile Güvenli Hedef İzleme protokolü (BİGHİ) geliştirilmiştir. BİGHİ protokolün temel fikri, her bir algılayıcı düğüm için geçmiş hedef tespit ve takip aktivitelerinin beta dağılımı oluşturularak itibar ve güven değerlerinin hesaplanmasıdır. Hedef tespit ve takip işleminde kullanılacak olan algılayıcılar, hesaplanan itibar ve güven değerlerine göre seçilerek ele geçirilmiş düğümler üzerinden gerçekleştirilecek saldırıların engellenmesi ve sistemin güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Performans analizi sonuçları göstermektedir ki; önerilen protokolün kullanılması ile ele geçirilen algılayıcı düğümlerin varlığında bile güvenli hedef tespit ve takip görevleri yüksek doğrulukla gerçekleştirilmektedir.

Bilim Kodu : 902.1.063  
Anahtar Kelimeler : Kablosuz algılayıcı ağlar, pasif kızılötesi algılayıcılar, algılayıcı yerleştirme, güvenli hedef tespiti ve takibi, beta itibar sistemi  
Sayfa Adedi : 85  
Danışman : Doç. Dr. Suat ÖZDEMİR

EFFICIENT SECURE TARGET TRACKING IN WIRELESS SENSOR NETWORK  
BASED CRITICAL AREA SURVEILLANCE SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Serkan AKBAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2014

ABSTRACT

With the developments in sensor techniques in recent years, wireless sensor networks are able to offer cost-effective solutions to various surveillance and tracking applications. Many of these applications operate autonomously in unattended environments and sensor nodes are equipped with directional sensors. Compared to omni-directional sensor nodes, the deployment strategy of directional sensor nodes is critical to improve target detection and tracking accuracy. Therefore, in the first part of this theses deployment of passive infrared motion (PIR) sensors that are commonly used in target detection and tracking applications is analyzed in terms of coverage issue. The PIR sensor deployment problem is addressed using several deployment schemes that are based on computational geometry and the performance of deployment schemes is evaluated in a Java based simulation environment. Target detection and tracking is one of the important applications for mission critical wireless sensor networks that are deployed into a remote and hostile environment. In such environments, sensor nodes may be compromised by intruders to distort the integrity of data by sending false data reports, injecting false data during target tracking, and disrupting transmission of sensed data. For mission critical wireless sensor networks, such as border protection systems, the result of above attacks may be catastrophic. In order to prevent these attacks, in the second part of this thesis, we propose a secure and reliable target tracking protocol that considers target detection and tracking tasks in terms of security. The basic idea behind the proposed protocol is to ensure tracking security using beta reputation based trust concept for individual sensor nodes. The performance evaluation results show that the use of proposed protocol allows the network to retain the trustworthiness of data even in the presence of compromised nodes thereby achieving secure target detection and tracking tasks.

Science Code : 902.1.063

Key Words : Wireless sensor networks, passive infrared sensors, sensor deployment, secure target detection and tracking, beta reputation system

Page Number : 85

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Suat ÖZDEMİR

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresinde yardım ve katkılarıyla bana yol gösterip yönlendiren, değerli fikirlerini hiçbir zaman esirgemeyen, sabır ve hoşgörüsü ile beni destekleyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Suat ÖZDEMİR'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen, mesleki ve akademik olarak katkılar sağlayan Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümü yüksek lisans hocalarıma çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana hiçbir zorluk çıkarmayan ve her zaman yanımda olduklarını hissettiren HAVELSAN'daki iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince 0211.STZ.2013-1 numaralı SAN-TEZ projesi kapsamında vermiş oldukları maddi ve manevi desteklerden dolayı T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve kurumum HAVELSAN A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman sevgiyle yanımda olan eşim Ayşen AKBAŞ'a ve aileme minnettar olduğumu belirtmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>9</b>
2.1. PKÖ Algılayıcı Yerleştirme Yaklaşımları .....	9
2.2. Hedef İzleme Yaklaşımları.....	10
2.2.1. Hiyerarşik ağlar .....	11
2.2.2. Uçtan uca ağlar.....	21
2.2.3. Dağıtık mimariye sahip ağlar .....	22
2.3. Güvenli Hedef İzleme Yaklaşımları .....	22
<b>3. PKÖ ALGILAYICI YERLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI .....</b>	<b>25</b>
3.1. Önerilen Yerleştirme Şemaları .....	26
3.1.1. Yerleştirme senaryoları.....	28
3.1.2. Kare yerleştirme şeması.....	28
3.1.3. Üçgen yerleştirme şeması .....	29
3.1.4. Altıgen yerleştirme şeması.....	31
3.2. Performans Değerlendirmesi .....	32
3.2.1. Hedef sektör içinde testi .....	33



3.3. Benzetim Sonuçları .....	34
3.3.1. Benzetim ortamı .....	34
3.3.2. Yerleştirme stratejisinin hedef tespit oranına etkisi .....	35
3.3.3. Algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisi.....	36
3.3.4. Hedef dağılımının hedef tespit oranına etkisi .....	36
3.3.5. Algılayıcı yerleştirme şemalarının hedef tespit artıklığı .....	36
3.3.6. Algılayıcı görüş açısının hedef tespit oranına etkisi.....	38
4. KAA GÜVENLİK GEREKSİNİMLERİ .....	41
4.1. KAA Güvenlik Gereksinimlerine Bütüncül Bakış .....	42
4.2. Güvenlik Gereksinimleri .....	42
4.2.1. Veri gizliliği .....	43
4.2.2. Veri bütünlüğü.....	43
4.2.3. Veri tazeliği.....	44
4.2.4. Kaynak doğrulaması .....	45
4.2.5. Geçerlilik.....	45
4.2.6. Güvenli konumlandırma .....	46
5. GÜVENLİ HEDEF İZLEME .....	47
5.1. Sistem Modeli ve Varsayımlar .....	48
5.2. Hedef İzleme Sistemine Yapılacak Olası Ataklar .....	49
5.2.1. Küme liderinin seçimi.....	50
5.2.2. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi .....	50
5.2.3. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi .....	51
5.2.4. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması.....	52
5.2.5. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin işbirliğine girmeleri.....	53

5.2.6. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin geçmiş verileri değiştirmesi .....	53
5.3. Algılayıcı Ağlar için Beta İtibar Modeli .....	53
5.3.1. Beta yoğunluk fonksiyonu .....	54
5.3.2. İtibar ve güven değerinin hesaplanması .....	55
5.4. Beta İtibar ile Güvenli Hedef İzleme (BİGHİ) Protokolü .....	57
5.4.1. BİGHİ protokolünün aşamaları .....	58
5.5. Güvenlik Analizi .....	63
5.5.1. Küme liderinin seçimi .....	63
5.5.2. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi .....	63
5.5.3. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi .....	63
5.5.4. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması .....	64
5.5.5. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin işbirliğine girmeleri .....	64
5.5.6. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin geçmiş verileri değiştirmesi .....	64
5.6. BİGHİ Protokolünün Performans Değerlendirmesi .....	65
5.6.1. Benzetim ortamı .....	65
5.6.2. Benzetim sonuçları .....	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	77
KAYNAKLAR .....	79
ÖZGEÇMİŞ .....	85

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Yerleştirme şemalarında kullanılan gösterimler.....	27
Çizelge 3.2. Benzetim parametreleri.....	35
Çizelge 5.1. Üç adet komşu düğümü olan düğüm A'nın itibar tablosu (RepTabA).....	58
Çizelge 5.2. Gözetleme ve küme lideri seçme algoritması .....	61
Çizelge 5.3. Hedef izleme algoritması .....	62

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Küme tabanlı mimari ile oluşturulmuş KAA.....	3
Şekil 1.2. KAA üzerine gerçekleştirilen kötücül ataklar .....	6
Şekil 2.1. KAA'da hedef izleme yöntemlerinin sınıflandırılması .....	11
Şekil 2.2. KAA'da küme tabanlı yaklaşımların sınıflandırılması.....	15
Şekil 3.1. PKÖ algılayıcısı .....	27
Şekil 3.2. Kare yerleştirme şeması.....	29
Şekil 3.3. Eşkenar üçgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) 5 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu .....	30
Şekil 3.4. 110° tepe açılı ikizkenar üçgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) 4 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu.....	31
Şekil 3.5. Altıgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) toplam kapsama alanı c) 18 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu .....	31
Şekil 3.6. Yerleştirme stratejisinin hedef tespit oranına etkisi a) üniform hedef dağılımı b) rastgele hedef dağılımı c) gaussian hedef dağılımı .....	37
Şekil 3.7. Algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisi.....	38
Şekil 3.8. Hedef dağılımının hedef tespit oranına etkisi .....	38
Şekil 3.9. Algılayıcı yerleştirme şemalarının hedef tespit artıklığı .....	39
Şekil 3.10. Algılayıcı görüş açısının hedef tespit oranına etkisi.....	39
Şekil 4.1. KAA'da bütüncül güvenlik yaklaşımı .....	42
Şekil 5.1. KAA hedef izleme .....	48
Şekil 5.2. Küme lideri seçme .....	51
Şekil 5.3. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi .....	51
Şekil 5.4. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi .....	52
Şekil 5.5. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması.....	52
Şekil 5.6. BİGHİ protokolünde küme lideri ve bekçi düğümler.....	60

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.7. Ele geçirilen düğümlerin bütün alana dağıtıldığı hedef tespit senaryosu .....	68
Şekil 5.8. Hedef tespit ve takip sistemine yapılan atak şeması (üst) sınır bölgesine gerçekleştirilen ataklar ve (alt) belirli bir bölgeye gerçekleştirilen ataklar ...	69
Şekil 5.9. Ele geçirilen düğümlerin sınır bölgesine dağıtıldığı hedef tespit senaryosu .	70
Şekil 5.10. Ele geçirilen düğümlerin bir bölgede toplandığı hedef tespit senaryosu.....	71
Şekil 5.11. Ele geçirilen düğüm yüzdesinin hedef takip doğruluğuna etkisi .....	72
Şekil 5.12. Hedef takip doğruluğunun zamana göre değişimi.....	73
Şekil 5.13. Her bir algılayıcı düğümün ortalama enerji tüketimi .....	74
Şekil 5.14. KAA ortalama yaşam ömrü .....	75
Şekil 5.15. Üç farklı ağ yaşam ömrü tanımı için KAA ortalama yaşam ömrü.....	76

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

<b>cos</b>	Kosinüs
<b>m</b>	Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>J</b>	Joule
<b>mJ</b>	Milijoule

### Açıklamalar

### Kısaltmalar

<b>AH</b>	Uzaklık Vektörü
<b>AY</b>	Algılayıcı Düğüm Yoğunluğu
<b>BADS</b>	Birim Şekle Düşen Algılayıcı Düğüm Sayısı
<b>BİGHİ</b>	Beta İtibar ile Güvenli Hedef İzleme
<b>DoS</b>	Servis Reddi
<b>GA</b>	Geometrik Alan
<b>GŞS</b>	Geometrik Şekil Sayısı
<b>HAA</b>	Hedef Algılama Alanı
<b>HST</b>	Hedef Sektör İçinde Testi
<b>IEEE</b>	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
<b>İA</b>	İzlenen Alan
<b>KA</b>	Kablosuz Algılayıcı Ağ
<b>MAC</b>	Mesaj Doğrulama Kodları
<b>MIC</b>	Mesaj Bütünlüğü Kodları
<b>OSI</b>	Açık Sistemler Ara Bağlaşımı
<b>PKÖ</b>	Pasif KızılÖtesi
<b>TAS</b>	Toplan Algılayıcı Düğüm Sayısı

### Açıklamalar

## 1. GİRİŞ

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), çok sayıda sınırlı kapasiteli, kısa mesafeli vericiye sahip, düşük güç ve maliyetli algılayıcının kolayca erişilemeyen ve çoğu zaman güvenilir olmayan bir ortama rasgele bırakılmasıyla oluşur. KAA'larda planlanmış bir ağ omurgası yoktur ve temel olarak çevresel bilgileri toplama, işleme ve depolama yeteneği olan ve ağ içerisindeki diğer algılayıcı düğümler ile iletişim kurabilen çok sayıda algılayıcı düğümün bir araya gelmesiyle ağ yapısı meydana gelir. Ortama bırakılan algılayıcı düğümler, ortamdaki fiziksel değişimleri (sıcaklık, hareketlilik, basınç ve nem gibi) takip edebilir ve algıladıkları bu bilgileri merkezi bir veri toplama birimine (baz istasyonu) ana düğüm (küme lideri ya da kök düğüm gibi) üzerinden iletirler. Ana düğüm, dizüstü bilgisayar ya da baz istasyonu gibi dış ortamda bulunan aygıtlar ile iletişim kurma kabiliyetine sahiptir [1, 2].

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte düşük maliyetli algılayıcı mimarilerinde gelişmeler meydana gelmiş ve dolayısıyla KAA üzerinde yapılan çalışmaların sayısı giderek artmıştır. KAA'da yer alan algılayıcı düğümler, izlenmek istenen alandaki hareketlilikleri dinleyebilme kabiliyetine sahiptirler. Bu yeteneklerinden dolayı KAA'larda hedef izleme süreci kritik alan gözetleme, sınır bölgelerini izleme, doğal afete karşı mücadele ve trafik kontrolü gibi askeri, sağlık, ev ve diğer alanlara yayılmış uygulamalarda önemli bir araştırma konusu olmuştur [1-4].

KAA kullanılarak geliştirilen hedef izleme uygulamaları üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, birçok çalışmada ortak olan çeşitli aşamalar gözlemlenmektedir. İlk olarak izlenen bölgeye giren hedef tespit edilmektedir. Sonrasında hedefi algılayan düğümlerin birbirleri ile iletişim kurması sonucunda hedefe dair bilgilerin gönderileceği bir lider düğüm seçilmektedir. Bir sonraki aşamada seçilen lider düğüm tarafından hedefe dair toplanan bilgiler kullanılarak hedefin konum, hız ve yön gibi hareket özellikleri tespit edilmektedir. Son olarak da hedefin hareketleri ağ tarafından istenilen zaman diliminde izlenmektedir. Temel olarak bu aşamalar hedefi tespit etme, hedefin konumunu hesaplama ve hedefi takip etme üzere üç kategoride incelenebilir [4, 5].

Tespit aşamasında hedef, gözetlenen alana girdiğinde hangi aktif algılayıcı düğümlerin algılama alanında ise o algılayıcı düğümler tarafından tespit edilir. Bir algılayıcı düğüm hedeften elde ettiği sinyal gücünü daha önceden belirlenmiş olan bir eşik değeri ile karşılaştırır. Eğer elde edilen sinyal gücü eşik değerinin üzerinde ise hedef tespit edilmiş demektir. Ayrıca hedef izlemenin sonraki aşamaları için hedefin hızı, yönü ve pozisyonu gibi bilgileri algılayıcı düğümler tarafından kaydedilir. Bu aşamada anahtar nokta ise hangi zaman aralığında hangi algılayıcı düğümlerin uyanık olacağı hangilerinin uyku durumunda bekletileceğinin belirlenmesidir [4].

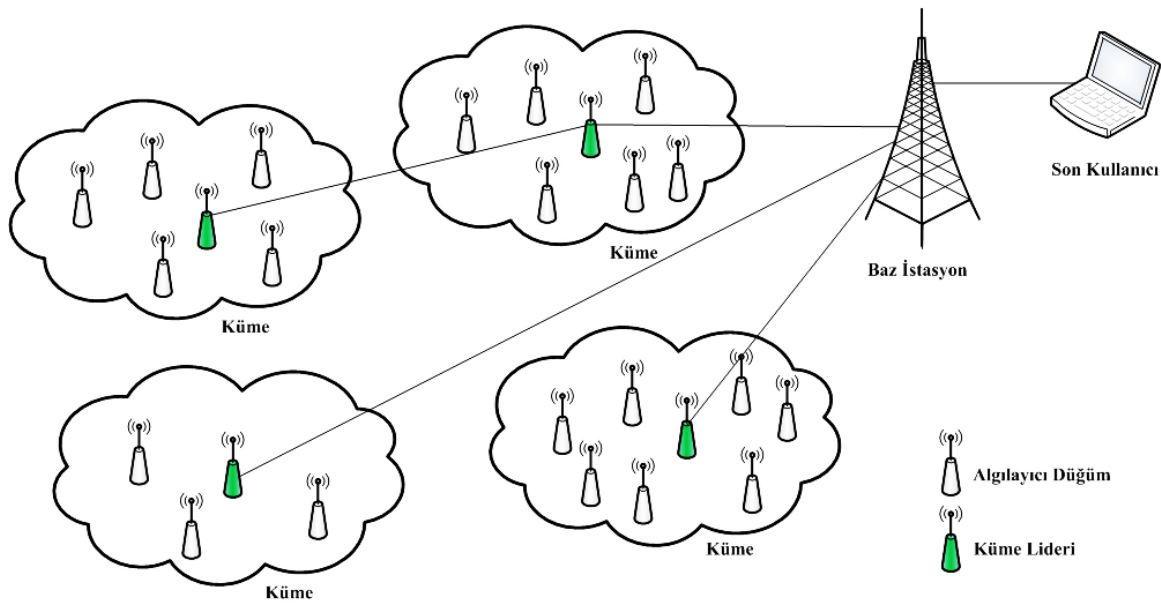
Hedefin varlığı tespit edildikten sonra, konumunun belirlenmesi aşamasına geçilir. Bu aşamada algılayıcı düğümler hedefe dair topladıkları bilgileri kök düğüm ya da küme lideri gibi ana bir düğüme iletirler. Ana düğüm, algılayıcı düğümlerden gelen verileri kullanarak hedefin konumunu tespit etmeye çalışır. Hedefin konumunu belirlemek için literatürde çok sayıda yöntem olmakla birlikte en çok kullanılanlar üçaçılama, üçkenarlama ve hücreleme yöntemleridir [4]. Tez kapsamında önerilen protokolde üçkenarlama yöntemi kullanılmıştır.

Üçkenarlama yönteminde, en az üç algılayıcı düğümün konum bilgisi ve hedefe olan uzaklıkları kullanılarak hedefin konumu hesaplanırken, üçaçılama yönteminde ise algılayıcı düğümlerin hedefe göre yön bilgileri de dikkate alınmaktadır. Hücreleme yönteminde de, KAA'nın algılama alanı, algılayıcı düğümlerin konumlarına göre hücelere ayrılır. Hedef hangi algılayıcı düğümün hücresinde ise o algılayıcı düğüm, hedefe en yakın düğüm olarak işaretlenir [6].

Takip aşamasında algılanan ve konumu tespit edilen hedefin algılayıcı düğümlerin kapsama alanları içerisindeki hareketleri takip edilir. Hedef takibi için kullanılan yöntemler genellikle kullanılan ağ mimarisine göre sınıflara ayrılabilir. Küme tabanlı yaklaşımlarda, KAA kümelerine ayrılmakta ve her bir küme için bir algılayıcı düğüm küme lideri olarak seçilmektedir. Küme lideri olarak seçilen düğüm, küme elemanlarından topladığı hedefe dair bilgileri kullanarak hedefin konumunu hesaplar ve hedefin takip edilmesini yönetir. Şekil 1.1'de kümelerine ayrılmış örnek bir KAA gösterilmiştir. Ağaç tabanlı yaklaşımlarda, hedefe en yakın düğüm kök düğüm olarak seçilir ve ağaç yapısı bu düğüm üzerine oluşturulur. Kök düğüm yaprak düğümlerinden elde ettiği bilgileri kullanarak hedef takip işlemini gerçekleştirmektedir. Tahmine dayalı yaklaşımlarda, algılayıcı düğümlerin hedefe



dair topladığı yön, hız gibi bilgiler kullanılarak hedefin bir sonraki konumu tahmin edilir ve ilgili alandaki algılayıcı düğümler uyandırılarak hedef onlara yaklaşmadan hazır olmaları sağlanır. Bu yöntemler tek başlarına kullanıldıkları gibi örneğin küme tabanlı ve tahmine dayalı yöntemlerin bir arada kullanıldığı hibrid yöntemler de mevcuttur. Hedef izleme yaklaşımlarının kritik noktalarını; hedef izleme doğruluğu, hedefi kaybetme ihtimalinin en aza indirilmesi ve enerji tasarrufunun en üst düzeyde tutulması olarak sıralayabiliriz [4].



Şekil 1.1. Küme tabanlı mimari ile oluşturulmuş KAA

Kablosuz algılayıcı ağlarda hedef izleme sisteminin pek çok avantajları vardır [1, 3];

- Nitelikli ve hassas gözlemler
- Doğru olarak ve zamanında veri işleme
- Sistemin dayanıklılığını ve izleme doğruluğunu artırma

KAA'lardaki bu avantajların kullanıldığı en önemli alanlardan bir tanesi de hareketli hedef izleme uygulamalarıdır. Bu uygulamaların birçoğu izleme şemasına ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte kablosuz algılayıcı ağlara özgü tasarım ve kaynak kısıtlarından dolayı hedef takibi uygulamalarında çeşitli zorluklar ortaya çıkmaktadır [1, 3];

- Kısıtlı enerji kaynağı ve düşük iletişim bant genişliği
- Her bir algılayıcı düğüm için kısıtlı iletişim alanı, işlem ve depolama kabiliyeti
- Dağıtık algoritmalar ve kontrol gereksinimi

- Özellikle ağ boyutu büyüdükçe algılayıcı düğümlerde karşımıza çıkan temel performans kısıtları
- Geliştirilen uygulamaya ve uygulamanın kurulacağı ortama göre kablosuz algılayıcı ağların boyutu, uygulama şeması ve ağ topolojisinin değişiklik göstermesi

KAA'nın enerji kaynakları çoğunlukla bataryalardır. Bu bataryaların vereceği enerji kısıtlı olup, enerjisi bittiği zaman şarj etmek ya da değiştirmek çoğu zaman imkânsız olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı enerji tüketimi önemli bir tasarım ve performans ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Birçok araştırmada da enerji etkin şemalar üzerinde durulmaktadır [1].

KAA'larda enerji kaynağının etkin kullanılmasını sağlayabilmek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden ilk akla gelen, ağ içerisinde algılayıcı düğümleri sadece ihtiyaç olduğu durumlarda aktif duruma getirmektir. Diğer taraftan hareket eden hedefi sürekli izleyebilmek için, bir grup algılayıcı düğümün hedef kendilerine ulaşmadan önce aktif duruma geçmeleri gerekmektedir. Bu algılayıcı grubu, hedefin hızına ve küme liderinin programlamasına göre değişiklik gösterebilir. Algılayıcı düğümü uyandırma işlemi için önerilen bir başka yöntemde ağ tarafından algılanan hedefin olası hareketleri önceden hesaplanarak bir tahmin yapılır ve hedefin olası hareketi yönündeki algılayıcı düğümler, hedef onların algılama alanına girmeden önce uyarılır. Böylece hedef izleme işlemi etkin bir şekilde yapılmış olacaktır [1, 2, 7].

KAA'larda kullanılan geleneksel hedef izleme yöntemleri merkezi bir yaklaşım sergilemektedir. Ağdaki algılayıcı sayısı arttıkça ana düğüm üzerinden geçen mesaj sayısında bir artış meydana gelir. Bu durum iletişim için daha fazla bant genişliği ihtiyacını ortaya çıkarır. Bundan dolayı merkezi yaklaşımların tek bir başarısızlık noktalarının olması ve ölçeklenebilirlikten yoksun olmaları hatalara karşı dayanıklı olmalarını engellemektedir. Ayrıca algılama görevi bir seferde bir algılayıcı düğüm tarafından yapıldığı için algılayıcı düğüm üzerinde daha yoğun hesaplama yükü oluşur ve ağın izleme doğruluğu da daha düşük olur [2].

KAA'larda her bir algılayıcı düğümün kısıtlı enerji kaynağı vardır. Karmaşık sinyal işleme algoritmalarına dayalı çalışan geleneksel hedef izleme yöntemleri, enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanamadıklarından dolayı kullanışlı değildirler [2]. Kablosuz algılayıcı

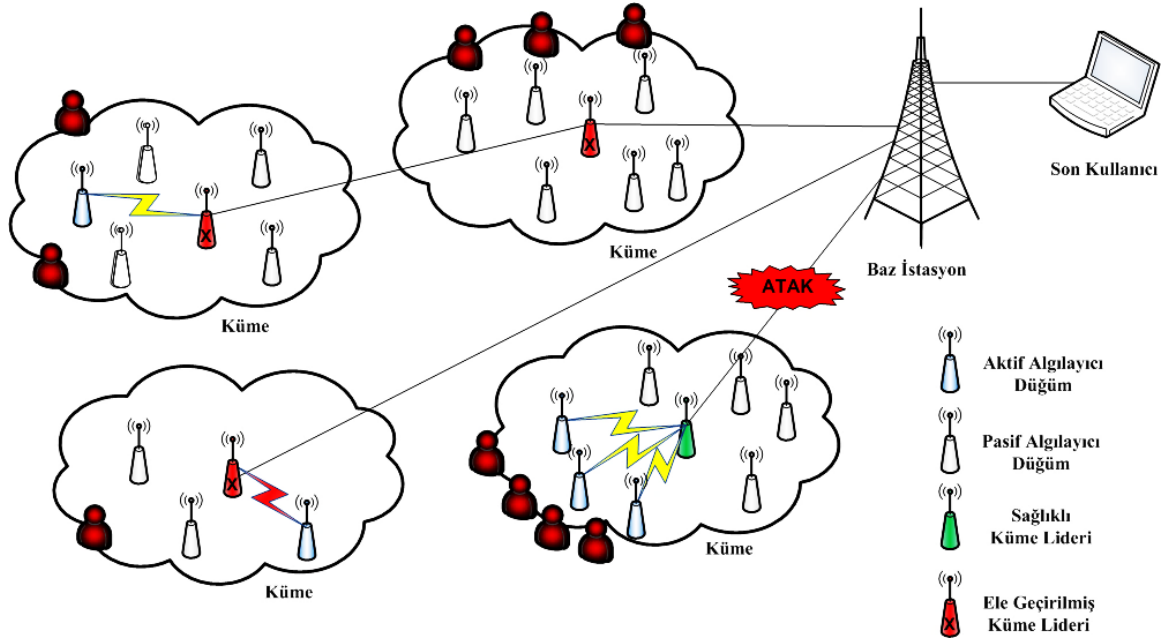
ağların dağıtık bir yapıya sahip olmasından dolayı bu ağ üzerinde kullanılacak olan algoritmaların da dağıtık olması performans açısından oldukça önemlidir. Şöyle ki; algılayıcı ağ üzerinde gerçekleştirilmek istenen bir işlem, ağ bünyesinde bulunan bütün düğümlere iletildiği için KAA'larda kullanılan algoritmalar genel olarak dağıtık algoritmalar sınıfında yer alırlar [4]. Dayanıklı ve ölçeklenebilir dağıtık algılayıcı ağlarda yine enerji tasarrufu için kümeleme tabanlı yaklaşımlar kullanılabilir. Tüm bu yaklaşımlarda dikkat edilmesi gereken temel nokta ise, izleme sürecine dâhil olan algılayıcı düğüm sayısının artması ile algılayıcı düğümlerin enerji tüketimlerinin çok iyi yönetilmesi gerekliliğidir [1].

Kritik alan gözetleme sistemlerinde kullanılan düğümler üzerinde, hedefin hareketini algılayabilmek için kızılötesi ve video gibi yönlü algılayıcılar kullanılmaktadır. Yönlü algılayıcılar belirli bir zaman aralığında sadece belirli bir yönü dinleyebildikleri için bu algılayıcılar ile tam kapsama alanına sahip olmak oldukça zordur. Bu durum hedef tespit görevini daha da zorlaştırmakta ve KAA'nın daha fazla enerji tüketmesine yol açmaktadır. Etkin bir hedef algılama gerçekleştirilebilmesi için mümkün olduğunca az sayıda algılayıcı düğüm ile mümkün olduğunca çok fazla alanı izleyebilmek gerekmektedir. Literatürde yönlü algılayıcıların kapsama alanlarını arttırmak için çeşitli çözümler önerilmektedir. Tez kapsamında hedef tespit ve takip uygulamalarında sıkça kullanılan Pasif KızılÖtesi (PKÖ) algılayıcıların yerleştirilme problemi ele alınmış ve hesaplanabilir geometrik yöntemeye dayalı senaryolar üzerinden çözümler teorik ve benzetim ortamlarında analiz edilmiştir.

Kritik alan gözetleme gibi hassas sistemlerde, bilgi toplama sürecinde veri bütünlüğünün ve gizliliğinin korunması oldukça önem arz etmektedir. Bundan dolayı kablosuz algılayıcı ağlar tarafından toplanan veriler gerek kümeleme sürecinde gerekse baz istasyona iletilmeleri sırasında korunmalıdır. Kablosuz algılayıcı ağlar geleneksel ağlara göre daha kırılgan bir yapıya sahiptirler. Bu zayıf nokta, güvenlik konusunun KAA'nın tasarım aşamasında ele alınması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Güvenlik problemi tez kapsamında önerilen beta itibar sistemine dayalı güvenli hedef izleme protokolü ile ele alınmıştır. Önerilen protokol benzetim ortamında analiz edilmiş ve sonuçlar protokolün uygulanmadığı durum ile karşılaştırılmıştır.

Literatürde genel olarak hedef izleme yaklaşımlarında güvenlik problemi ele alınmamaktadır. Diğer taraftan, Şekil 1.2'de de gösterildiği gibi kritik alana yerleştirilen

algılayıcı düğümler üzerine gerçekleştirilebilecek kötücül saldırılar sonucunda bazı algılayıcı düğümler ele geçirilebilir. Ele geçirilen algılayıcı düğümler, yanlış hedef tespit alarmı verme, hedef bilgilerini yanlış gönderme gibi kötücül işlemler ile ağın atıl olarak çalışmasına sebep vermekte ve bu durumda ağın yaşam ömrü ciddi oranda azalmaktadır. Önerilen güvenli hedef izleme protokolünde her bir algılayıcı düğüm için hedef tespit ve takip aktiviteleri kayıt altına alınmakta ve beta itibar yöntemi kullanarak algılayıcı düğümlerin güvenilirlik oranları hesaplanmaktadır. Böylece ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin hedef tespit ve takip aşamalarında aktif olarak görev almalarının engellenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1.2. KAA üzerine gerçekleştirilen kötücül ataklar

Tezin literatüre yapmış olduğu katkılar özetlenecek olursa:

- Literatürde, PKÖ algılayıcılar gibi belirli bir zaman aralığında sadece belirli bir yönü gözlemleyebilen yönlü algılayıcılar için yerleştirme problemleri ele alınırken gerçek hayattaki değerlerin çoğu zaman dikkate alınmadığı gözlemlenmiştir. Yerleştirme problemini için yapılan önerilerin büyük bölümünde algılayıcıların 360° görüş açısına sahip olduğu varsayılmıştır. Normalde 110° görüş açısına sahip PKÖ algılayıcıları için bu tür varsayımlarla yerleştirme problemini ele almak yerleştirme şemasının uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Çalışmamızda bu eksiklikten yola çıkarak hedef tespit ve takip uygulamalarında sıklıkla kullanılan PKÖ algılayıcılarının gerçek

karakteristikleri dikkate alınarak hesaplanabilir geometrik yöntemle dayalı senaryolar üzerinden yerleştirme şemaları geliştirilmiştir.

- Literatürde şu ana kadar yapılan çalışmalarda çok az sayıda güvenli hedef izleme protokolü geliştirilmiştir. Bu çalışma ile kritik alan gözetleme uygulamaları için güvenli hedef tespit ve takip süreçleri güvenlik açısından ele alınmış ve KAA üzerinde çeşitli saldırılar sonucunda ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin aktif olarak görev almalarını engelleyecek beta itibar tabanlı güvenli hedef izleme protokolü geliştirilmiştir. Protokolde temel olarak algılayıcı düğümler komşu düğümlerinin hedef tespit ve takip davranışlarını gözlemlemekte ve bu davranışların beta dağılımını çıkarmaktadırlar. Beta dağılımı çıkarılan her bir algılayıcı düğüm için güven değeri hesaplanmaktadır. Güven değeri yüksek olan algılayıcı düğümler hedef tespit ve takip görevlerinde aktif olarak yer almaktadırlar.

Tezin ilerleyen bölümleri şu şekilde devam etmektedir. 2. Bölümde literatürde var olan PKÖ algılayıcıların yerleştirilmesi ve hedef izleme yaklaşımları incelenmiş ve detaylı olarak açıklanmıştır. 3. Bölümde PKÖ algılayıcıların yerleştirme problemi önerilen hesaplanabilir geometri tabanlı senaryolar ile ele alınmıştır. Önerilen senaryolar teorik olarak analiz edilmiş ve benzetim sonuçlarına yer verilmiştir. 4. Bölümde KAA güvenlik gereksinimleri açıklamıştır. 5. Bölümde önermiş olduğumuz beta itibar sistemine dayalı güvenli hedef izleme protokolünün aşamaları, matematiksel modelleri, algoritmalarının tanımlarından bahsedilmiştir. Ayrıca Java programlama dili kullanılarak geliştirilen benzetim ortamından alınan sonuçlar önerilen güvenlik protokolünün kullanılmadığı durum ile karşılaştırmalı olarak grafiklere dökülerek yorumlanmıştır. Son bölümde tez kapsamında elde edilen bütün sonuçlara yer verilmiş ve ileriye yönelik yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

KAA'lar üzerine literatürde çok fazla çalışma karşımıza çıkmaktadır. Kısıtlı enerji kaynakları ve dinamik yapılarından dolayı geleneksel ağlara uygulanan yöntemler KAA için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu durum birçok araştırma alanı doğmasına sebep olmuştur.

Sınır boyunun gözetlenmesi, boru hatlarının güvenliği ya da kalekolların güvenliği gibi kritik alan gözetleme sistemlerinde güvenlik ön planda tutulmaktadır. Diğer taraftan hedef tespit ve takip uygulamalarında sıklıkla kullanılan PKÖ algılayıcıları gibi belirli zaman aralığında sadece belirli bir alanı gözetleyebilen yönlü algılayıcıların kullanıldığı sistemlerde ise algılayıcı düğümlerin izlenen alana yerleştirilmesi oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bölümde literatürde geçen PKÖ algılayıcılarının yerleştirilme yaklaşımları ve hedef tespit ve takip yöntemleri araştırılmıştır. Ayrıca hedef tespit ve takip yaklaşımlarından güvenliği ön plana çıkaranlar için ayrı bir başlık açılmıştır. Sonuç olarak taranan çalışmalar üç ana başlık altında özetlenmiştir.

### 2.1. PKÖ Algılayıcı Yerleştirme Yaklaşımları

Literatürde kızılötesi algılayıcılar için yerleştirme performansını iyileştirmeye yönelik çok çeşitli çalışmalar vardır [8-17].

PKÖ algılayıcıları kullanılarak gözetleme sistemi oluşturmaya yönelik yapılan çalışmada [8], yerleştirilme stratejisinin bölge tabanlı hedef izleme algoritmalarının kullanıldığı durumlarda çok önemli olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada PKÖ algılayıcılarının pozisyonlarının belirlendiği çok basit bir yaklaşım da önerilmiştir. İncelenen diğer bir çalışmada [9] ise hedef tespit ve sınıflandırma problemi sismik ve PKÖ algılayıcılarının birlikte kullanılması ile ele alınmıştır. Sismik ve PKÖ algılayıcılarından toplanan verilerin dalgacık tabanlı öznitelik çıkarma yöntemi ile işlenerek belirtilen problemin çözülmesi hedeflenmiştir. Diğer taraftan PKÖ algılayıcılarının avantajları ve dezavantajları da tartışılmıştır. Örneğin bir algılayıcının yerleştirilmesi, sistemin kullanım amacı ve

KAA'nın kurulduğu ortamın özellikleri ile yakından ilgilidir. PKÖ algılayıcı yerleştirme işlemi, algılayıcı düğümlerin düşük mesafeli algılama alanına sahip olmalarından dolayı oldukça maliyetli bir işittir. Bundan dolayı sismik ve PKÖ algılayıcılarının beraber kullanılması önerilmiştir.

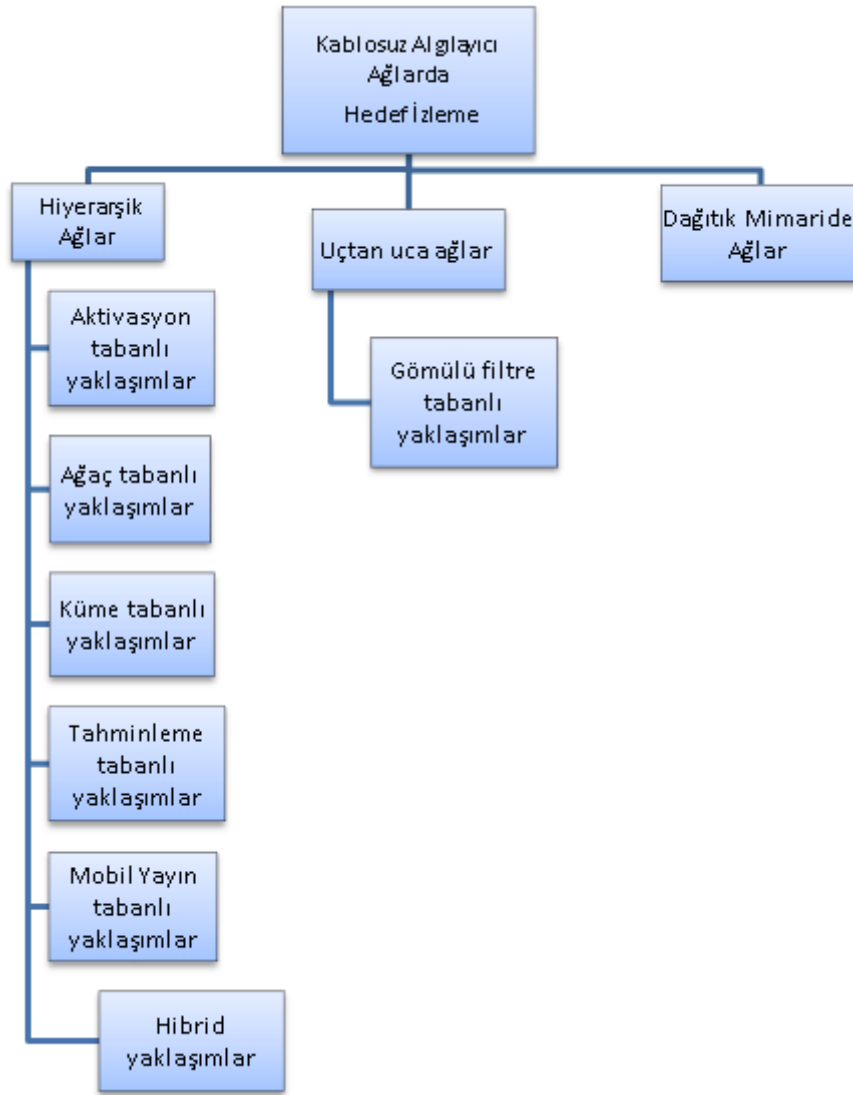
Bir başka çalışmada [10], PKÖ algılayıcılar doğrusal olarak yerleştirilmiş ve algılama alanı her bir PKÖ algılayıcısının dört farklı algılama bölgesinden yola çıkarak hücrelere ayrılmıştır. Beş PKÖ algılayıcısının servis robotunun üzerine yerleştirildiği uygulamada [11], dairesel bir algılama bölgesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Tüm bu çalışmalardaki deneysel sonuçlar göstermektedir ki PKÖ algılayıcılarının kullanımı hedef tespit ve takip oranını arttırmaktadır. Diğer taraftan gerçek dünyada kullanılan PKÖ algılayıcılarının aksine birçok çalışmada algılayıcı düğümlerin 360° izleme açısına sahip oldukları varsayılmıştır. Örneğin PKÖ algılayıcısının 360° izleme açısına sahip olduğu düğüm yerleştirme stratejisinde [14] performans ölçümleri algılayıcı düğümlerin başlangıç ve yerleştirme stratejisine göre yeni pozisyonlarındaki kapsama alanlarının karşılaştırılması ile gerçekleştirilmiştir.

PKÖ algılayıcılarının yerleştirilmelerine yönelik yapılan çalışmalar özetlendiğinde yaklaşımları temel olarak iki kategoride değerlendirebiliriz. İlk olarak algılayıcı düğümlerin en uygun pozisyonlarını bulmaya çalışan yöntemler, ikinci olarak ise algılayıcı düğümlerin algılama alanlarının iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar karşımıza çıkmaktadır [8-17]. Tez kapsamında algılayıcı düğümlerin etkin kapsama alanlarına sahip olmalarını sağlamak için birinci yaklaşım esas alınmıştır.

## **2.2. Hedef İzleme Yaklaşımları**

Hareket eden bir hedefi izleme işlemi, KAA'larda son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Kritik alan gözetleme sistemleri gibi uygulamalarda gözetlenen alana giren hedefi izlemek için Şekil 2.1'de gösterildiği gibi çeşitli yöntemler önerilmektedir. Önerilen yöntemler ağ mimarisi yönünden sınıflandırılmıştır.





Şekil 2.1. KAA'da hedef izleme yöntemlerinin sınıflandırılması

### 2.2.1. Hiyerarşik ağlar

Hiyerarşik ağlarda algılayıcı düğümler arası çoklu sıçrama yapmaya imkân tanıyan iletişim altyapısına sahip sistemler kullanılır [2].

#### Aktivasyon tabanlı yaklaşımlar

Aktivasyon tabanlı yaklaşımlar, algılayıcı düğümlerin belirli şartlara göre aktif ve pasif duruma geçirilmeleri prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda temel amaç enerji tüketimini azaltmaktır.

Naif aktivasyon ya da doğrudan iletişim tabanlı izleme şeması, tüm algılayıcı düğümlerin sürekli izleme durumunda olduğu en basit yaklaşımdır [2, 3]. Algılayıcı düğümlerin rastgele programlanması, algılayıcı ağın daha uzun süreli bir kapsamaya sahip olmasına olanak tanır. Rastgele programlama algoritmaları, algılayıcılardan asgari durum bilgilerini muhafaza etmelerini istediği ve gerekli olmayan iletişim yüklerini engellediği için dağıtık ağ ortamlarına kolayca kurulabilirler. Seçici aktivasyon tabanlı tahminleme yaklaşımında, herhangi bir zaman aralığında çok az sayıda algılayıcı düğüm izleme durumunda bekletilir. İzleme durumundaki algılayıcı düğümler, hedefin bir sonraki konumunu tahmin ederler ve hedefin tahmin edilen hareket yönündeki algılayıcı düğümlere izleme işlemini devrederler. Geri kalan algılayıcı düğümler iletişim durumunda bekletilir ve gelecek bir uyarı sinyali ile izleme durumuna geçirilebilir. Görev döngüsü tabanlı aktivasyon yaklaşımında ise, tüm algılayıcı ağ düzenli görev döngüsü içerisinde periyodik olarak aktif ve pasif durumlara getirilir. Burada kilit özellik ise, bu yaklaşımın hedef izleme için diğer aktivasyon yaklaşımları ile bağlantılı olarak kullanılabilmesidir [2]. Dağıtık algılayıcı aktivasyonu ikili algılayıcıların kullanıldığı KAA'larda güvenilir hedef izleme yapabilmek için tasarlanmıştır. Algoritmaya göre izleme bölgesindeki tüm algılayıcılar belirli bir olasılığa göre aktive edilirler ya da enerji tasarrufu için uyku durumunda bekletilirler. Bu planlama algılayıcı düğümün komşularının davranışlarına göre değişmektedir. Dağıtık algılayıcı aktivasyonu algoritması, rastgele aktivasyon yaklaşımı ile karşılaştırıldığında tespit oranı benzer çıkmakta ve enerji tüketimi ile izleme oranları beraber ele alındığında rastgele aktivasyon yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar vermektedir [18]. Tahmin edilen bölge tekniğine dayanan enerji etkin algılayıcı aktivasyon protokolü, hedefin gerçek konumunu tahmin etmek yerine bir sonraki zaman aralığında hareket edeceği bölgeyi tahmin ederek enerji-izleme kalitesinin dengesini iyi kurmayı amaçlamaktadır. Bu protokol, dağıtık algılayıcı aktivasyonu ve naif aktivasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında, enerji tüketimi ve ağın yaşam süresini iyileştirme parametrelerinde daha iyi sonuçlar vermiştir [19]. Kablosuz görsel algılayıcı ağlar için tasarlanmış algılayıcı aktivasyon şeması [20], hedefi algılayan algılayıcılardan elde edilen görüntüleri ilişkilendirip, daha fazla ilişkiye sahip algılayıcıların hedef izleme sürecine katılmalarını sağlamaktadır. Geliştirilen aktivasyon şemasının ana amacı, hedef izleme doğruluğunu attırmak ve hedef izleme doğruluğu ile ağın enerji tüketimi arasındaki dengeyi kurmaktır. Ayrıca, birden fazla hedefin takip edilmesini de desteklemektedir.

### Ağaç tabanlı yaklaşımlar

Ağaç tabanlı yaklaşımlarda algılayıcı ağ bir ağaç yapısı düzeninde oluşturulur ya da bir çizge olarak gösterilir. Bu yapıdaki köşeler, algılayıcı düğümleri ve düğümler arası doğrudan iletişimin yapılabildiği bağlantı noktaları olan kenarları temsil etmektedir. Hedefi algılayan düğümler birbirleri ile iletişim halindedirler ve algılayıcı düğümlerin elde ettikleri verileri dağıtık kapsama ağacı üzerinden toplayacak olan kök düğümü seçerler. Eğer kök düğüm hedeften oldukça uzaklaşırsa, bu durumda ağaç yapısı yeniden oluşturulacaktır. Bununla birlikte kapsama ağaç tabanlı yöntemler hareket halindeki hedefi doğru bir şekilde izlemelerine rağmen ağaç yapısındaki organizasyonlar çok fazla enerji tüketimine sebep olmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak için farklı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde göre, hedefe en yakın algılayıcı düğüm kök düğüm olarak seçilir ve ağaç yapısı bu düğüm üzerine oluşturulur. Sonrasında hedef hareket ettikçe bazı algılayıcı düğümler ağaca eklenir, bazıları da ağaçtan çıkartılır. Bu yöntem ile hem enerji tüketimi hem de gereksiz bilgi akışı azaltılmış olur [1, 2, 21].

STUN protokolünde, iki düğüm arası Öklid uzaklığı hesaplanarak düğümler arası bağlantıya bir maliyet değeri atanmıştır. Daha sonra ağacın oluşturulmasında bu maliyet değerleri kullanılmıştır. Yaprak düğümler hareket eden nesnelere takip etme ve topladıkları verileri ara düğümler aracılığıyla baz istasyona iletme görevine sahiptirler. Ara düğümler yaprak düğümlerden gelen verileri saklarlar ve bu verilerde değişiklik olmadığı sürece kök düğüme güncelleme göndermezler. DCTC protokolü, ilk olarak hedefi tespit eder ve hedefin çevresini izlemeye alır. Kapsama ağacı hedefe yakın algılayıcı düğüme konuşlandırılır ve bu ağaç hedef izleme sürecinde kullanılır. Hedefin konumu, kök düğümün konumu kullanılarak tahmin edilir. Bu yöntemin ağaç yapısı, konvoy ağaç olarak adlandırılır ve hareket halindeki hedefin etrafında bulunan düğümlerden oluşur. Dolayısıyla hedef hareket ettikçe hedeften uzaklaşan düğümler ağaçtan çıkarılarak, hedefin yaklaştığı düğümler ise ağaca dâhil edilerek konvoy ağacı yeniden oluşturulur. Hedef izlenen bölgeye girdiğinde hedefi algılayan düğümler birbirleri ile iletişime geçerek bir kök düğüm seçerler ve başlangıç konvoy ağacı oluşturulur. Kök düğüm algılayıcı düğümlerden aldığı bilgileri toplar ve bazı sınıflandırma algoritmaları kullanarak hedef hakkında daha kapsamlı ve doğru bilgi edebilmek için topladığı bu bilgileri düzenler. Bu yöntemde karşımıza çıkan en büyük zorluk, hedef hareket halinde iken konvoy ağacını enerji etkin bir şekilde yeniden oluşturacak DCTC altyapısının oluşturulmasıdır. Bu

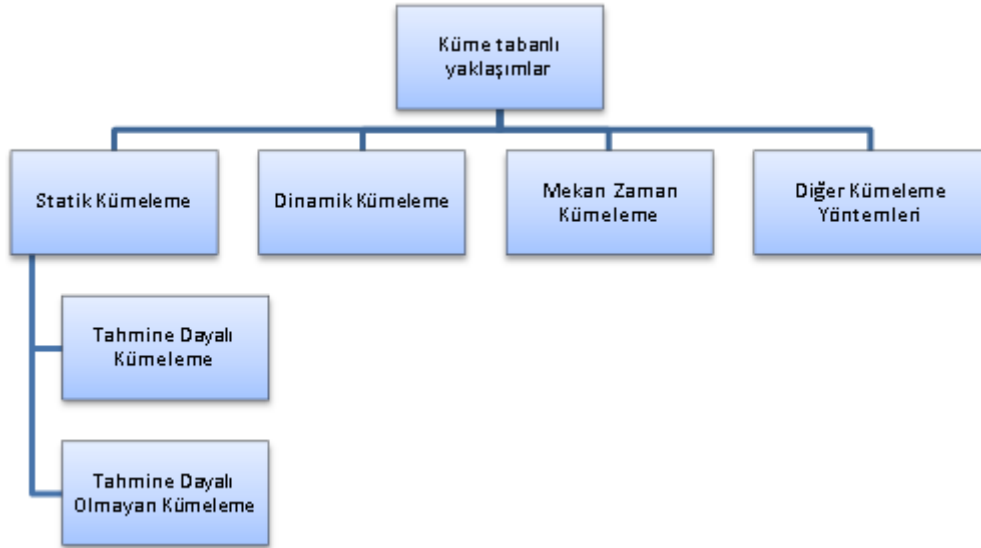
zorluğu aşmak için bazı şemalar önerilmiştir; fakat birçoğu pratik olmadıkları için çok kullanılmamaktadır [1-3].

OCO, hedef izleme için gerçekleştirilmiş ağaç tabanlı bir yöntemdir. Algılayıcı düğümler üzerinde düşük hesaplama yükü oluşturarak, düğümlere kendiliğinden organize olma ve yönlendirme kabiliyetleri sunar. OCO yönteminin en büyük dezavantajı ise yüksek enerji tüketimidir [1, 2, 7]. DAT, hedef izleme süreci temel olarak güncelleme ve sorgulama aşamalarından oluşan bir protokoldür. Hedefe dair konum güncellemeleri ve sorgulama işlemleri çeşitli yollarla yapılabilir. Konum güncellemeleri genel olarak hedef bir algılayıcı düğümden başka bir algılayıcı düğüme doğru hareket ettiği zaman oluşturulmaktadır. Sorgulama için ise çağrılan sorgunun tüm algılayıcı ağda dolaştırılması sağlanabilir; fakat bu yöntem, ağın boyutu büyüdükçe ve sorgu sıklığı arttıkça enerji tüketimi de artacağı için çok etkin değildir. Z-DAT protokolü, DAT yöntemine benzemesi ile birlikte, bağlantıları farklı sırayla incelemesi yönüyle DAT yönteminden ayrılır. Hem DAT hem de Z-DAT yöntemleri çoğunlukla güncelleme maliyetlerini düşürseler de bazen sorgulama maliyetini düşürmeyi başaramazlar. DOT yönteminde hareket eden hedefe ait bilgiler yine hareket eden bir kaynağa gönderilir. Hedef keşfi sırasında kaynak, algılayıcı düğümlere istekte bulunur ve hedefe en yakın düğüm bu isteğe cevap verir. Bu cevabı alan kaynak, bir sonraki işaret düğüme doğru harekete geçer. Kaynak hedefi yakalayınca kadar bu süreç sürekli tekrarlanır [2].

Hedef izleme için geliştirilen ağaç tabanlı yaklaşımların birçoğu çok fazla mesajlaşma ve güncelleme yükü getirmektedir. Ayrıca, sorgu sıklığı çok fazla dikkate alınmamaktadır. Gerçek trafik bilgisine ve sorgu sıklığına göre ağaç yapısını oluşturan SRMTA yaklaşımın önerildiği çalışmada [22], tüm algılayıcılar her bir bağlantı noktalarındaki izleme oranlarını kaydeder ve güncelleme oranını hesaplarlar. Nesli tükenme tehlikesi ile karşı karşıya olan “kelaynak” kuşlarının izlenmesi için yapılan çalışmada [23], algılayıcı ağ yapısı sistematik bir şekilde düzenlenmiştir. Ağ içerisindeki algılayıcı düğümlerin bir kısmı direk olarak baz istasyon ile iletişim kurabilirken, diğerleri ise ağ üzerinde oluşturulmuş ağaç yapısı üzerinden birden fazla sıçrama yaparak baz istasyon ile iletişim kurarlar. Çalışmada algılayıcıların ağ içerisinde homojen olarak yayıldıkları varsayılmıştır. Belirli bir zamanda sadece bir algılayıcı düğümün hedefin konumunu tespit etme görevini yerine getirdiği varsayılan çalışmada [24], STUN yaklaşımının bir varyasyonu olarak tasarlanmış bir yöntem önerilmiştir. Algılayıcı ağda yer alan her bir algılayıcı düğüm kendi görev alanına

yerleştirilir. Bu görev alanları birbirleri ile çakışmayacak şekilde ayarlanmıştır ve toplamda tüm hedef izleme bölgesini kapsamaktadır. Algılayıcı ağda bulunan bütün düğümler, ana düğüm üzerine oluşturulan ağaç yapısı üstünden organize edilirler.

### Küme tabanlı yaklaşımlar



Şekil 2.2. KAA'da küme tabanlı yaklaşımların sınıflandırılması

Hedef izlemenin kalitesini arttırmak için, algılayıcıların hedefin konumunu gerçeğe en yakın tahmin etmesi gerekir. Kapsama ağacı tabanlı yaklaşımlar daha hassas hedef izleme kabiliyeti sunmalarına rağmen ağaç yapısının yeniden oluşturulması gereken durumlar ağın daha fazla enerji tüketmesine sebep olmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlarda hedef izleme için geliştirilen birçok yöntemin çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı kısıtlı donanım ve enerji kaynağı olan algılayıcı düğümler üzerinde uygulanması çok zordur. Kablosuz algılayıcı ağlardaki kısıtlı kaynakları yönetebilmek için kümeleme yaklaşımı önemli yöntemlerden bir tanesidir. Küme tabanlı yöntemler diğer hedef izleme yaklaşımlarına göre daha etkin bant genişliği kullanımı ve çok büyük boyuttaki algılayıcı ağlar için ölçeklenebilirlik sunmaktadır. Ayrıca enerji etkin çözümler sunan kümeleme yaklaşımları ağ üzerindeki iletişimi de hafifletmektedir. Tüm bu avantajları ile her bir algılayıcı düğümün batarya ömrünü uzatacak yönetim stratejilerini içeren kümeleme yaklaşımları, algılayıcı ağın yaşam süresini en uzun seviyede tutmayı hedeflemektedir [1, 2, 7, 25, 26].

Küme tabanlı yöntemlerde algılayıcı ağ, işbirlikçi veri işlemeyi destekleyebilmesi için kümelere ayrılır ve her küme, bir lider ve üyelerden oluşur. Bir algılayıcı düğüm hedefi algıladığı zaman küme lideri olmak için gönüllü olur. Küme liderini seçmek için algılayıcı düğümlerin birbirleri ile iletişime geçerek seçim yapmasına gerek yoktur. Küme liderlerinin ağ içerisinde gerçekleştirilen işlemler sonucunda belirlenmesi baz istasyona iletilecek mesaj sayısını da azaltır. Böylece güvenliğin yanı sıra ağ üzerindeki iletişim yükü de artmamış olur. Bir küme içerisine birden fazla küme lider adayları çıkabilir. Bu durumda, farklı yaklaşımlar kullanılarak izlenen hedefin çevresinde sadece bir tane küme liderinin aktif olması sağlanmalıdır. Hedef izleme sürecinde hedefi algılayan düğümler elde ettikleri bilgileri küme liderine iletirler. Küme lideri de küme içerisindeki algılayıcı düğümlerden topladığı bilgileri hedefin konumunu hesaplamada kullanır. Son aşamada küme lideri, hesapladığı bu konum bilgisini baz istasyona iletir. Bu yaklaşımın en önemli avantajlarından bir tanesi, algılayıcı ağın yaşam ömrünü en uzun sürede tutabilmek için enerji tüketiminin kontrol altında tutulmasıdır [1, 2, 7].

Statik kümeleme yaklaşımında küme yapısı, kablosuz algılayıcı ağın oluşturulması sırasında belirlenir. Her bir kümenin etki alanı, elemanları ve boyutu sabit ve hiçbir zaman değiştirilmez. Küme liderleri ve bu lidere bağlı algılayıcı düğümler belirlendikten sonra bir daha değiştirilmez. Bu durumda bir algılayıcı düğüm en başta belirlenen küme liderine algılayıcı ağın çalışma süresi boyunca bağlı kalır [2, 21].

Statik kümeleme mimarisine dayanan statik lider algoritmasında küme lideri olarak görev yapacak algılayıcı düğümler ağın oluşturulması sırasında belirlenmektedir. Küme lideri olarak belirlenen düğümler dinleme durumunda işlem yaparken diğer algılayıcı düğümler enerji tasarrufu için uyku durumunda bekletilirler. Seçmeli statik lider algoritması aynı çalışmada önerilen statik lider algoritması ile benzer akışa sahip olmakta birlikte bütün küme elemanlarının ve küme liderlerinin aktif küme lideri ile iletişim kurması gerekliliği noktasında farklılık göstermektedir. Belirlenen bir uzaklık eşik değerinin altındaki algılayıcılar küme liderine bildirimde bulunmaktadır. Böylece daha fazla enerji tasarrufu yapılması amaçlanmıştır [26].

Kaynak yükünü en aza indirmeyi hedefleyen Pro-CM yaklaşımı, küme yapılarını önceden statik bir şekilde oluşturulmaktadır. Küme elemanları küme liderleri ile tek sıçramada iletişime geçebilirler. Hedefi algılayan küme elemanları küme liderine hedefe

dair bilgileri gönderirler. Küme lideri, küme elemanlarını organize etme, veri toplama ve bu verileri birleştirme, gerektiğinde hedef izleme ve diğer küme liderleri ile iletişime geçmeden sorumludur. Bu sorumluluklardan dolayı küme liderleri daha fazla enerji kaynağı, hafıza ve hesaplama kabiliyetine ihtiyaç duyarlar. Dinamik kümeleme yaklaşımları ile karşılaştırıldığında küme lideri seçmek için zaman ve enerji harcamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca dinamik yaklaşımlardaki her düğümün küme lideri olabilmesi ihtimali Pro-CM yaklaşımında olmadığı için nispeten daha az sayıda küme lideri olur ve bundan dolayı toplam donanım giderleri de daha az olmaktadır. Hedef birkaç kümenin kesişim bölgesinden geçtiğinde ise, istisna işleme mekanizması hedefin kaybedilmemesi için devreye girer ve bu kümeleri koordine eder [27].

Tahmine dayalı olmayan kümeleme yaklaşımında, algılayıcı ağda bulunan düğümlerin hepsi uyanık durumdadırlar. Bu yaklaşımda enerji tasarrufu bir sorun olarak görülmemekte fakat uygun küme liderinin seçimi ve küme liderinin yaşam süresi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı uygulama ortamına göre küme lideri seçme algoritmaları her bir algılayıcı düğüm üzerinde çalıştırılır ve algılayıcı düğümler birbirleri ile iletişime geçerek küme liderini seçerler [21].

Dinamik kümelemede, hedefi ilk algılayan düğümler dinamik olarak bir küme oluştururlar. Bu yaklaşımda eğer bir algılayıcı düğüm hedefi algılayacak enerji ve hesaplama kabiliyetine sahip ise küme liderliği için gönüllü olur. Daha sonra en fazla enerji kaynağına sahip algılayıcı düğüm küme lideri olarak görev yapar. Statik kümelemeye göre dinamik kümeleme yaklaşımında farklı zamanlarda farklı küme yapıları oluşturulabilmektedir. Örneğin, mevcut küme liderinin tahmin ettiği hedef güzergâhına en yakın algılayıcı düğüm, komşu düğümleri ile birlikte yeni bir küme yapısı oluşturmaktadır. Ayrıca izlenen hedefin etrafında sadece bir küme aktif durumda tutularak gereksiz veri oluşumu engellenmektedir [2, 25].

RARE protokolünde kümeler, hedef takibi sırasında tahminleme yöntemi ile dinamik olarak oluşturulur. Böylece izlemeye katılan düğüm sayısı azaltılmış olur. Bu protokol düşük seviyede enerji tüketse de, kaybedilen hedeflerin tekrar algılanması süreci iyi tanımlanmamıştır [1]. Dağıtık algoritmalarından birisi olan DELTA, sabit hızdaki hedefi dinamik olarak oluşturduğu küme ve küme lideri ile izler. Bu algoritmanın avantajı, algılayıcı düğümlerin iletişim alanlarının algılama alanlarından daha geniş olma özelliğini

kullanmasından dolayı oluşmaktadır. Bununla birlikte sadece sabit hızdaki hedefleri izleyebilmesi, değişken hızdaki hedeflerde bu yöntemin etkin olamamasına sebep olmaktadır [2]. Hedef izleme için önerilen çözümlerin birçoğu algılayıcı ağda oluşacak hataları dikkate almamaktadır. Bununla birlikte, algılayıcıların kısıtlı enerji kaynakları, zorlu çevre koşulları, istikrarlı çalışmayan iletişim bağlantıları ve kötücül saldırılar gibi etkenler hedef izleme uygulamalarında hataların çok iyi ele alınmasını gerektirir. Bu tespitten yola çıkarak küme tabanlı ve hatalara karşı toleranslı FTTT protokolü geliştirilmiştir. FTTT protokolü, hareket halindeki hedefleri izlemek için tasarlanmıştır. Bu protokol her bir algılayıcı düğümün kendi konumunu bildiğini varsaymaktadır [28].

DTMT, dinamik küme tabanlı hedef izleme yaklaşımıdır. Temel olarak başlangıç, izleme ve uyandırma olarak adlandırılan üç aşamadan oluşmaktadır. Başlangıç aşamasında algılayıcı düğümler göreceli komşuluk çizge teoremi kullanılarak poligon şeklindeki kümeler halinde gruplanmaktadır. Her bir algılayıcı düğüm en az bir kümeye katılabilmektedir. İzleme aşamasında ilk olarak hedef tespit edilir. Daha sonra hedefin bir önceki zaman dilimi ile şimdiki zaman dilimindeki konumları kullanılarak hız ve hareket yönü hesaplanır. Daha sonra, hız ve hareket bilgileri üzerinden hedefin konum bilgisi hesaplanır ve hesaplanan bu konum bilgisi ana düğüme iletilir. Uyandırma aşamasında hedefin aşırı hızlanması gibi beklenmedik durumlarda hedefin kaybedilmesi ihtimali göz önünde bulundurularak, uyandırma mekanizmasında iyileştirmeler yapılmıştır. Böylece hedefin kaybedilme ihtimali azaltılarak enerji tasarrufu yapılmış olacaktır [29]. Hem bilgiyi hem de enerji tüketimini dikkate alan bir düğüm seçme şemasının önerildiği çalışmada [30], hedefi doğru konumlandırma ile algılayıcı düğümlerin enerji tüketimleri arasındaki dengeyi iyi kurmak için en uygun algılayıcı setini seçmek amaçlanmıştır. Her bir algılayıcı düğüm, ayrı ayrı parçacık filtre temelli hedef izleme uygulamaktadır. Burada algılayıcı düğümler hedefi tespit etme olasılıklarını hesaplamaktadırlar. Önerilen yöntem temel olarak iki aşamadan oluşur. İlk aşamada hedefi tespit edebilecek algılayıcı düğümler aktive edilirken diğer düğümler enerji tasarrufu için uyku durumunda bekletilirler. İkinci aşamada ise, hedefi tespit etme olasılığı daha önceden belirlenmiş eşik değerinden daha fazla olan algılayıcı düğümler hedef izleme sürecine katılmak için aday olurlar. Çalışmada izleme doğruluğu ile enerji tüketimi arasında dengeyi iyi kuran dinamik algılayıcı düğüm seçme şeması, genetik algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda önerilen şemanın enerji etkin bir çözüm olduğu ve aynı zamanda tolere edilebilir izleme hatasını muhafaza ettiği görülmüştür.



Kablosuz algılayıcı ağlarda enerji tüketimini azaltmak için kullanılan en popüler kümeleme yöntemlerinden bir tanesi de LEACH protokolüdür. Algılayıcı düğümler kümelere ayrılır ve her bir kümeye küme lideri seçilir. Kümeler algılanma sinyal gücüne göre oluşturulur ve küme liderleri baz istasyona verileri iletmek için yönlendirici olarak kullanılırlar. Algılayıcı düğüm hedefi algıladıktan sonra hedefe ait bilgileri küme liderine gönderir. Küme lideri, algılayıcı düğümlerden topladığı bilgileri birleştirerek sonrasında baz istasyona iletir. Bu yaklaşımda küme liderinin diğer algılayıcı düğümlerden daha fazla enerji kaynağına ihtiyacı vardır. Bundan dolayı, LEACH algılayıcı düğümler arasında küme liderliği görevini rastgele değiştirmektedir. Böylece, ağ içerisindeki enerji tüketimi eşit olarak dağıtılabilecektir. CODA algoritmasında her bir algılayıcı düğüm, algılama alanı içerisinde hedefin hareket sınırlarını tespit edebilmekte ve hedefi izleyebilmektedir [1, 2].

Aşırı iletişim yükü getirmeden bir hedefi sürekli izleyebilmek için etkin hedef tespit mekanizmalarına ihtiyaç vardır [1, 2]. Statik kümeleme tabanlı yaklaşımlar büyük ölçekli algılayıcı ağlarda hedef izleme uygulamalarında daha kullanışlıdır. Bununla birlikte statik küme üyeliği farklı kümelerdeki algılayıcıların işbirliği yapmasını ve bilgi paylaşımını engellemektedir. Bu durum hedef, küme yapılarının sınırları boyunca ya da arasında hareket ettiği zaman “sınır problemi” olarak adlandırılan sorunu ortaya çıkarmaktadır. Sınır problemi, izleme belirsizliğinin arttırmakta hatta bazı durumlarda hedefin kaybedilmesine sebep olmaktadır. Büyük ölçekli küme tabanlı KAA’lar için enerji etkin bir protokol olan HCTT protokolü, sınır problemini çözmek için sınır düğümlerinin yardımıyla isteğe bağlı dinamik kümeleme yapısını ölçeklenebilir statik küme tabanlı KAA’ya dâhil etmektedir. HCTT protokolü enerji tüketimi ile yerel algılayıcıların işbirliği parametreleri arasındaki dengeyi iyi kurmaktadır. Önerdiği geçici dinamik küme yapısı ile bir statik kümeden diğerine geçen hedefin akıcı bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca kümeler arası bilgi paylaşımı da yapılabilmektedir. Böylece sınır problemi çözülmüş olmaktadır. HCTT protokolü hem tek sıçrama hem de çoklu sıçrama mesafesindeki küme yapılarında etkin sonuçlar vermektedir [31].

#### Tahminlemeye dayalı yaklaşımlar

Bu yaklaşımda hedefin mevcut hareket hızı ve yönü kullanılarak bir sonraki konum bilgisi tahmin edilmektedir. Sonrasında tahmin edilen konumdaki algılayıcı düğümlere uyarı

mesajı gönderilerek hedef onların algılama alanına girmeden uyanık konuma geçmeleri sağlanmaktadır. Ayrıca hedefin hareket yönü dışında kalan algılayıcı düğümler de uyku konumuna geçirilmektedir. Böylece ağın enerji kaynağının etkin bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır [1]. Tahmine dayalı hedef izleme yöntemlerinde genel olarak, “t” anında tespit edilen bir hedefin “t+1” anında bulunacağı konumu tahmin edilmektedir. Hedefin hızı arttıkça, algılayıcı düğümler tarafından algılanamadan yoluna devam edebilmekte ve bu durum hedefin kaybedilmesine sebep olmaktadır. Bu problemi çözmek için hedefin geçeceği güzergâh tahmin edilir ve bu güzergâh doğrultusundaki algılayıcılar uyandırılarak izlemenin sürekliliği sağlanmaya çalışılır [6].

PES protokolü, kabul edilebilir koşullarda; hedef izleme işlemini düşük enerji tüketimi ile gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bunun için hedef izlemeye katılan düğüm sayısını ve örnekleme sıklığını en aza indirmeye çalışır. Hedefin kaybedilmesinden kaynaklanan ek yükleri dengeler. Ayrıca, hedefi izleyen düğümleri aktif durumda tutar ve diğer düğümleri ise pasif durumda bekletir. PES yaklaşımının ana fikri, hedef izleme görevine dâhil olmayan algılayıcı düğümlerin mümkün olduğunca uyku durumunda beklemelerini sağlamaktır. Hedefin algılama alanına girdiği algılayıcı düğümlere “geçerli düğüm” adı verilir ve bu düğümler de olabildikleri kadar uyku durumunda olmalıdırlar. Kullanılan tahminleme modeline göre gereçli düğüm, hedefin olası konumunu tahmin eder ve “hedef düğüm” olarak adlandırılan bir grup algılayıcı düğümü belirler. Geçerli düğüm hedef düğümlere uyanma mesajı gönderdiği andan itibaren kendisini uyku durumuna alır [1, 2].

DPR yönteminde hedefin algılama bölgesine girdiği algılayıcı düğüm bir sonraki raporlama periyoduna kadar hedefin hareketlerini tahmin eder. Aynı anda, baz istasyon da aynı hedefin hareket geçmişlerini kullanarak hedefin hareketini tahmin eder. Baz istasyon yaptığı bu tahmini saklar; fakat algılayıcı ağ ile paylaşmaz. Böylece iletişim yükü arttırılmamış olur. Burada önemli nokta baz istasyon ve algılayıcı düğümlerde tutulan hedefe ait geçmiş bilgilerinin aynı olmasından dolayı hedef hareketine dair tahminlerin de hep aynı olacağıdır. PTSP, algılayıcı ağdaki enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmayı amaçlamaktadır. Bunun için en az sayıda algılayıcı düğüm ile izlenen hedefin hareketlerini tahmin etmektedir. EDPT, enerji israfını ve cevap zamanlarını kısmayı hedefler ve düşük hesaplama karmaşıklığı ile hedefi izlemeye olanak sağlar. PET, hedefin hareket güzergâhını çıkartmak ve hedef hareket örüntülerini iyileştirmek ve böylece enerji tüketimini azaltmayı hedeflemektedir [1, 2]. POOT algoritması hedef izleme sürecindeki

iletişim yükünü hafifletmek için yüz bölgesine dayalı yönlendirme sistemine dayanmaktadır. Ayrıca hedef izleme süreci kısa süreli tahminleme modelini esas alarak gerçekleştirilir. Hedefin hızı arttıkça POOT algoritmasının enerji tüketimi de büyük ölçüde artmaktadır. Diğer taraftan, farklı hızlarda hedefler kullanılarak yapılan testlerde en az %97,5 izleme doğruluğu ile çalışan POOT algoritması birçok hedef izleme uygulaması için kabul edilebilir hassasiyete sahiptir [32].

### Mobil yayına dayalı yaklaşımlar

Bu yaklaşımı kullanan protokoller, mobil baz istasyonlarına zamanında güvenilir bilgi aktarımını ve hedefin hareket yönünün tahmin edilmesini amaçlamaktadırlar. Ayrıca algılayıcı ağlarda yerel koordinasyon ve veri kümelemesi için güçlü bir iletişim soyutlaması oluştururlar. Algılayıcı ağ içerisinde bir hedef tespit edildiği zaman bir grup oluşturulur. Grup lideri içerisinde tahmini konum ve hedefi algılama zamanının bulunduğu mesaj paketlerini hedefin hızına göre yer değiştiren baz istasyonlara gönderir [1, 7].

### Hedef izlemede hibrid yaklaşımlar

Hibrid yaklaşımlar birden fazla hedef izleme yaklaşımının gereksinimlerinin yerine getirmek için geliştirilmiş izleme algoritmalarıdır [2]. Örneğin kritik alan gözetleme sistemleri için geliştirilmiş hedef izleme protokollerinde ölçeklenebilirliğin sağlanması için küme tabanlı bir yaklaşım tercih edilirken hedef izleme sürecinin kesintisiz gerçekleşebilmesi ve enerji verimliliği için ise tahmin tabanlı bir yaklaşım kullanılarak algılayıcı düğümlerin hedef algı alanına girmeden hazır hale gelmeleri sağlanmaktadır.

#### **2.2.2. Uçtan uca ağlar**

Ağaç ya da küme tabanlı yaklaşımlarda anlık algılama işlemi birkaç algılayıcı düğüm tarafından gerçekleştirilir ve dolayısıyla baz istasyon ya da küme lideri üzerinde çok fazla iletişim yükü oluşur. Baz istasyon ya da küme liderinin devre dışı kaldığı durumlarda hiyerarşik ağlar dayanıksız olmaktadır. Bu sıkıntılardan dolayı, uçtan uca kablosuz algılayıcı ağlar hedef izleme için geliştirilmiş alternatif bir mimaridir [2].

### 2.2.3. Dağıtık mimariye sahip ağlar

Bu mimaride küme lideri gibi merkezi bir algılayıcı düğüm çeşidi yoktur. Bundan dolayı, algılayıcı ağda bulunan bütün düğümler aynı seviyede çalışma sorumluluğuna sahiptirler. Algılayıcı düğümler tarafından toplanan hedef bilgileri baz istasyona iletilir. Bu bilgileri kullanarak hedefin anlık konumunu tahmin etme görevi baz istasyon tarafından gerçekleştirilir [21].

### 2.3. Güvenli Hedef İzleme Yaklaşımları

KAA'larda hedef izleme yaklaşımları üzerine çok fazla sayıda çalışma olmasına rağmen, güvenlik kistasını ön plana çıkaran çok az sayıda hedef izleme çalışması karşımıza çıkmaktadır [33-36]. Nicelendirilmiş hedef izlemenin yapıldığı KAA'lar için güvenli ve dayanıklı kümeleme probleminin ele alındığı çalışmalarda [33,35], veri kümeleme, ele geçirilmiş algılayıcı düğümleri tespit etme ve hedef pozisyonunu tahmin etme görevlerinde yer alacak algılayıcı düğüm grubunu belirlemek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde nicelendirilmiş varyasyon algoritması kullanılarak hedefin pozisyonu tahmin edilmektedir. Daha sonra tahmin edilen hedef pozisyonu kullanılarak hesaplanan çoklu-ölçüt fonksiyonu ile algılayıcı düğüm grubu belirlenmektedir. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümler ise hedefin anlık pozisyon dağılımı ile algılayıcı düğüm gözlemleri arasındaki "Kullback-Leibler" uzaklığı kullanılarak tespit edilmektedir. Mobil düğümlerin güvenli izlenmesi probleminin ele alındığı çalışmada [34], genişletilmiş kalman filtresine dayalı güvenli izleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile mobil düğümlerin ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin varlığında bile yüksek başarımla izlenmesi hedeflenmiştir. Mobil hedefleri yüksek doğrulukta izleme üzerine yapılan çalışmada [36], hedefin iletişim alanı içerisinde yer alan algılayıcı düğümlerin tahmin ettikleri uzaklık değerleri kullanılarak izleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Önerilen şema ile önceden belirlenen eşik değerinin altında kalan ele geçirilmiş algılayıcı düğüm oranı ile hedef doğru bir şekilde konumlandırılabilir.

Kritik alan gözetleme sistemleri gibi algılayıcı düğümler tarafından kaydedilen verilerin gizliliğinin ve bütünlüğünün oldukça önemli olduğu uygulamalarda KAA'ların kendine özgü kısıtlarından dolayı geleneksel güvenlik önlemlerini uygulamak oldukça güç olmaktadır. Bu durum, kötücül saldırılar sonucu ele geçirilmiş olan algılayıcı düğümlerin

varlığını tespit etmeyi zorlaştırmaktadır. Kötücül düğümlerin varlığını hesaba katan ve hedef izleme görevini güvenli bir şekilde yerine getiren yaklaşımlar kritik alan gözetleme sistemleri için ihtiyaç duyulan sistemlerdir.

Ele geçirilmiş algılayıcı düğümleri tespit etmek amacıyla algılayıcı düğümler için güven değerleri hesaplanabilir. Her bir algılayıcı düğüm için oluşturulacak güven modeli, önceden belirlenmiş eşik değerinin altında kalan düğümleri ele geçirilmiş olarak değerlendirmektedir. Beta itibar sistemini [37] kullanarak güven modeli önerilen çalışmalarda [38, 39], algılayıcı düğümlerin geçmiş hedef izleme aktiviteleri kullanılarak beta dağılımları oluşturulmakta ve her bir algılayıcı düğüm için güven değeri hesaplanmaktadır. Hedef izleme sürecinde güven değeri yüksek olan algılayıcı düğümler daha aktif olarak görev almaktadırlar.



### 3. PKÖ ALGILAYICI YERLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI

KAA, çok sayıda kısıtlı hafıza, hesaplama ve iletişim kaynağına sahip algılayıcı düğümünün bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. KAA, genellikle ortamı dinlemek ve toplanan verileri veri toplama merkezine iletmeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda KAA'lar, algılayıcı düğümlerin ulaşılabilen bölgelerde otonom bir şekilde çalışabilmeleri için yerleştirildiği çeşitli kritik alan gözetleme uygulamaları için düşük maliyetli çözümler sunmaktadır [40-43].

Algılayıcı düğümlerin kısıtlı enerji kaynakları olmasından dolayı, enerjiyi verimli kullanabilmek KAA için temel problemlerden bir tanesidir. Dolayısıyla, KAA'nın temel görevlerinden olan veri algılama ve iletimi işlemlerinin enerji etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir [40-43].

Birçok kritik alan gözetleme uygulamaları üzerinde yönlü algılayıcıların bulunduğu düğümlere ihtiyaç duymaktadır. Bu durum algılama görevini daha zor ve daha fazla enerji tüketir bir hale getirmektedir. Yönlü algılayıcılar için kapsama alanı, görüş açısı ve göz göze temas gibi gereksinimlerin hedefin konumunu doğru tespit edebilmek için karşılanması gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı algılayıcı düğümlerin yerleştirme stratejileri yukarıdaki tasarım kısıtlarını karşılayabilmek için oldukça önemlidir. Buradaki anahtar nokta ise hedef tespit ve takip doğruluklarını artırırken enerji tüketimini ise etkin bir şekilde gerçekleştirmektir [40-43].

Yönlü algılayıcı düğümler çoğunlukla video, kızılötesi ve ses gibi algılayıcıları içermektedir. Bu algılayıcılar belirli bir zamanda belirli bir yön doğrultusunda algılama işlemi yapabilmektedirler. Bu kısıt algılama alanında tam bir kapsama alanı oluşturmayı zorlaştırmaktadır [42].

Kapsama problemini ele alan çalışmalar genellikle hedef tabanlı kapsama yaklaşımları, algılama alanı tabanlı kapsama yaklaşımları, iletişim bağlantısını garanti eden kapsama yaklaşımları ve uzun ağ yaşam ömrünü sağlayan kapsama yaklaşımları olmak üzere dört farklı kategoride incelenebilir. Bütün bu çözüm önerileri yönlü algılayıcı düğümleri yerleştirmek için çeşitli stratejiler oluşturmuşlardır [41-43].

Algılayıcı düğümler KAA'nın kurulacağı alana rastgele ya da önceden belirlenen bir yerleştirme planı ile yerleştirilebilirler. Rastgele yerleştirmede algılayıcı düğümler genellikle felaket bölgesi ya da aktif savaş alanı gibi ulaşılamayan bölgelere hava araçları yardımıyla rastgele bir dağılım gösterecek şekilde serpiştirilirler. Planlı yerleştirmede ise algılayıcı düğümlerin pozisyonları önceden belirlenerek KAA'nın hedef tespit ve takip yeteneklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Algılayıcı düğümlerin planlı bir şekilde yerleştirilmesi sınır güvenliği, kritik alan gözetleme, kaçak giriş tespitleri, gözetleme ve sağlık yardımı gibi geniş bir alandaki KAA uygulamalarında kullanılabilir. Genetik algoritmalar, hesaplanabilir geometri, yapay potansiyel alan ve parça sürü optimizasyonu planlı yerleştirmede kullanılacak olan algılayıcı yerleştirme algoritmalarını geliştirmek için yaygın bir şekilde kullanılan temel matematiksel yaklaşımlardır [41-43].

Kritik alan gözetleme uygulamaları için geliştirilmiş hedef tespit ve takip yöntemlerinde PKÖ algılayıcılar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [42]. Diğer algılayıcı düğümlerin aksine PKÖ algılayıcıları herhangi bir aygıtta ya da tespit edilen hedeften gelen sinyale ihtiyaç duymazlar. Hem gündüz hem de gece çalışabilen PKÖ algılayıcıları temelde ortamdaki farklı sıcaklıklara sahip hedefin hareketi sonucu oluşan kızılötesi yayılımındaki değişimleri tespit etmektedirler. Ayrıca bir PKÖ algılayıcısının, 10 metre kapsama yarıçapı ve 110° görüş açısı olan geniş bir algılama alanı bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı PKÖ algılayıcıları kritik alan işleme sistemlerinde hedefi tespit etme ve takip süreçleri için oldukça kullanışlıdır [8]. Bununla birlikte literatürde PKÖ algılayıcıların kapsama alanı problemini ele alan kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Tez kapsamında hedef tespit ve takip uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan PKÖ algılayıcılarının yerleştirme problemi üzerinde durulmuştur. PKÖ yerleştirme problemi hesaplanabilir geometrik modellere dayalı çeşitli yerleştirme senaryoları ile ele alınmıştır. Oluşturulan yerleştirme senaryoları hem teorik olarak hem de Java tabanlı benzetim ortamında analiz edilmiş, sonuçlar grafiklere dökülerek yorumlanmıştır [70].

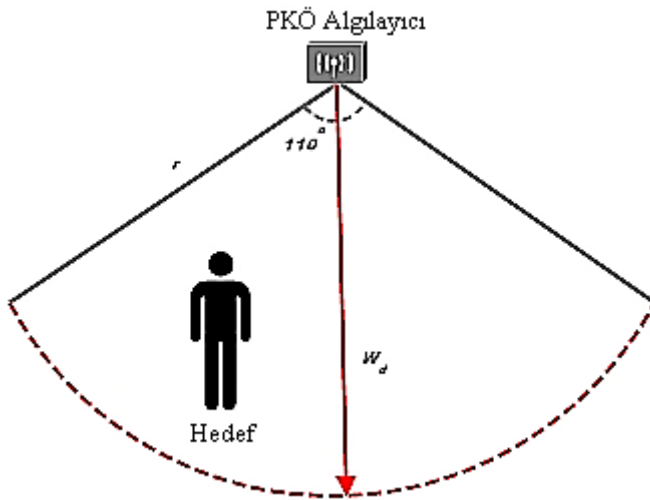
### **3.1. Önerilen Yerleştirme Şemaları**

Bir KAA'nın oluşturulması aşamasında kullanılacak algılayıcı düğüm sayısının ve algılayıcı düğümler arası ortalama mesafenin belirlendiği yerleştirme stratejileri, KAA'nın yaşam ömrü ile yakından ilgilidir. Bundan dolayı, algılayıcı düğümlerin enerji etkinliğini



arttırmak ve KAA'nın ağ yaşam ömrünü uzatmak için yerleştirme stratejisi önemli bir rol oynamaktadır. Yerleştirme şemalarını oluştururken algılayıcı düğümlerin izlenecek alana manuel olarak yerleştirildiği varsayılmıştır. Bu varsayıma göre geometrik tabanlı PKÖ algılayıcısı yerleştirme senaryoları oluşturulmuştur. İlerleyen bölümlerde oluşturulan senaryolar teorik ve uygulamalı olarak analiz edilecektir.

Önerilen senaryolarda, algılayıcı düğümlerin kısıtlı iletişim, veri işleme ve algılama kabiliyetleri vardır. Oluşturduğumuz senaryoların ortak amacı PKÖ algılayıcılarının 10 metrelik algılama mesafesi içerisinde  $110^\circ$ 'lik ve 3 boyutlu bir görüş alanı olduğunu dikkate alarak PKÖ algılayıcılarının yerleştirme problemine çözüm aramaktır. İzlenen alan içerisinde tam bir kapsama alanına sahip olmak için algılayıcı düğümler senaryolarda belirtilen geometrik şekillerin köşelerine yerleştirilmiştir ve algılayıcı düğümlerin kapsama alanlarının birbirleri ile çakışabileceği varsayılmıştır. Şekil 3.1'de PKÖ algılayıcısının ve kapsama alanının genel bir görünümüne yer verilmiştir. Tablo 3.1'de ise bu bölümde kullanılacak olan bazı gösterimler kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3.1. PKÖ algılayıcısı

Çizelge 3.1. Yerleştirme şemalarında kullanılan gösterimler

Gösterimler	Açıklamaları
$W_d$	PKÖ algılayıcısının çalışma yönü
$r$	PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapı
$l, w$	İzlenen alanın boyutları (uzunluğu ve genişliği). PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapının katları olacak şekilde seçilmiştir.

### 3.1.1. Yerleştirme senaryoları

Teorik analizde ilk olarak, izlenen alan PKÖ algılayıcıların yerleştirme problemini ele almak amacıyla geometrik şekillere ayrılmaktadır. Daha sonra her bir yerleştirme senaryosu ilgili geometrik şeklin özellikleri, algılayıcı düğümün geometrik şekle yerleştirme stratejisi ve birim alana yerleştirilmesi gereken algılayıcı düğüm sayısının hesaplanması süreci açıklanmıştır.

Birim izlenen alana düşen algılayıcı düğüm sayısı şu parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır: İzlenen Alan ( $\dot{I}A$ ), algılayıcı düğümlerin yerleştirileceği Geometrik şeklin Alanı ( $GA$ ), izlenen alan içerisinde yer alan Geometrik Şekil Sayısı ( $G\dot{S}\dot{S}$ ) ve izlenen alan içerisinde yer alan Toplan Algılayıcı düğüm Sayısı ( $TAS$ ).

$\dot{I}A$ ,  $n$  ve  $k$  olarak gösterilecek olan katsayılar ile PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapının çarpılmasıyla elde edilmiş uzunluk ve genişlik değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.  $G\dot{S}\dot{S}$ ,  $\dot{I}A$ 'nın  $GA$ 'ya bölünmesi ile elde edilmektedir. Önerilen algılayıcı düğüm yerleştirme stratejisine göre  $G\dot{S}\dot{S}$  ile Birim geometrik şekle düşen Algılayıcı Düğüm Sayısı ( $BADS$ ) çarpılarak  $TAS$  hesaplanmaktadır. Son aşamada ise Algılayıcı düğüm Yoğunluğu ( $AY$ ) elde edilip ilgili yerleştirme senaryosu, PKÖ algılayıcısının yerleştirme problemi açısından ele alınmaktadır.

$$\dot{I}A = l \times w = (n \times r) \times (k \times r) = nkr^2 \quad (3.1)$$

$$G\dot{S}\dot{S} = \frac{\dot{I}A}{GA} \quad (3.2)$$

$$TAS = G\dot{S}\dot{S} \times BADS \quad (3.3)$$

$$AY = \frac{TAS}{\dot{I}A} = \frac{\left( \frac{\dot{I}A}{GA} \times BADS \right)}{\dot{I}A} = \frac{BADS}{GA} \quad (3.4)$$

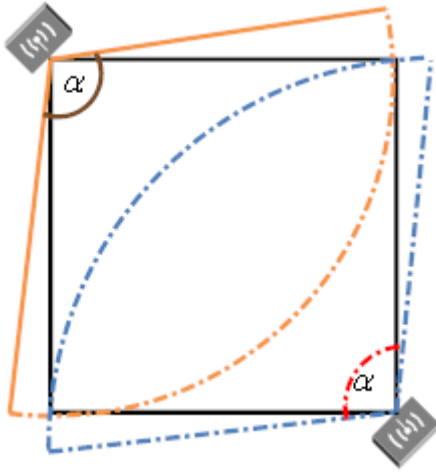
### 3.1.2. Kare yerleştirme şeması

Kare yerleştirme şeması için uygulanan senaryoda izlenen alan kare şeklinde alanlara ayrılmaktadır. Kare şeklin her bir kenarı PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapı kadardır.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi iki algılayıcı düğüm birbirlerine yüz yüze bakacak şekilde kare şeklinin iki köşegeninden herhangi birine yerleştirilmektedir.

PKÖ algılayıcıların  $110^\circ$ ’lik bir görüş açısı olduğu için köşegen kenarlarına yerleştirilen algılayıcı düğümler kare şekli tamamen kapsayabilmektedir. Bu senaryoda tam kapsamayı gerçekleştirebilmek için gerekli olan algılayıcı yoğunluğu ise aşağıdaki adımlarda hesaplanmaktadır;

$$GA = r \times r = r^2 \quad AY = \frac{2}{r^2} \quad (3.5)$$



Şekil 3.2 Kare yerleştirme şeması

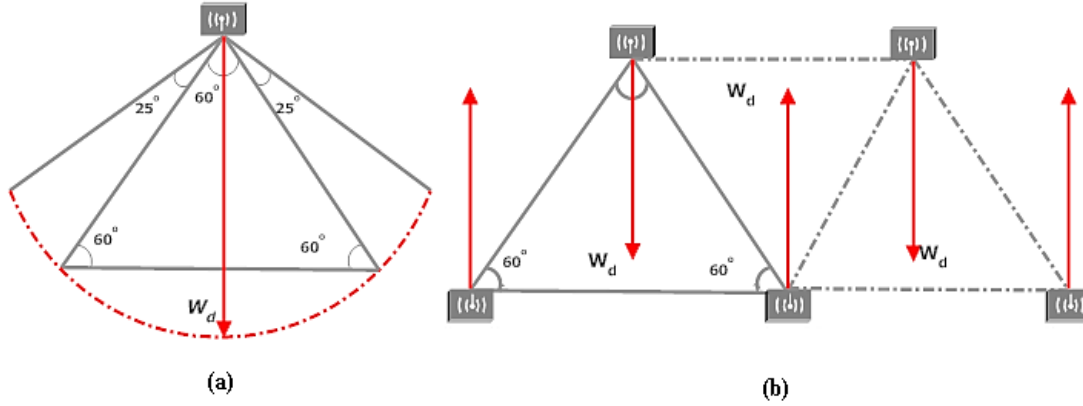
### 3.1.3. Üçgen yerleştirme şeması

Üçgen yerleştirme şemasında algılayıcı düğümlerin üçgen oluşturacak şekilde belirli pozisyonlara yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Eşkenar üçgen ve  $110^\circ$  tepe açılı ikizkenar üçgen olmak üzere iki farklı yerleştirme stratejisi ile üçgen yerleştirme şeması ele alınacaktır.

#### Eşkenar üçgen yerleştirme

Eşkenar üçgen yerleştirme stratejisinde, izlenen alanın bölündüğü üçgen şeklindeki bölgelerin her bir kenar uzunluğu PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapına eşittir. Bir eşkenar üçgeni tam olarak kapsayabilmek için tepe noktasına yerleştirilen bir algılayıcı düğüm kullanılmıştır. Şekil 3.3(a)’da yerleştirilen algılayıcı düğümün çalışma yönü

gösterilirken, Şekil 3.3(b)'de örnek bir eşkenar üçgen yerleştirme senaryosu oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Eşkenar üçgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) 5 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu

Her bir eşkenar üçgen için yerleştirilen bir adet algılayıcı düğüm tam kapsama için yeterli olmuştur. Bu yerleştirme yaklaşımı için algılayıcı yoğunluğu aşağıdaki adımlarda hesaplanmaktadır;

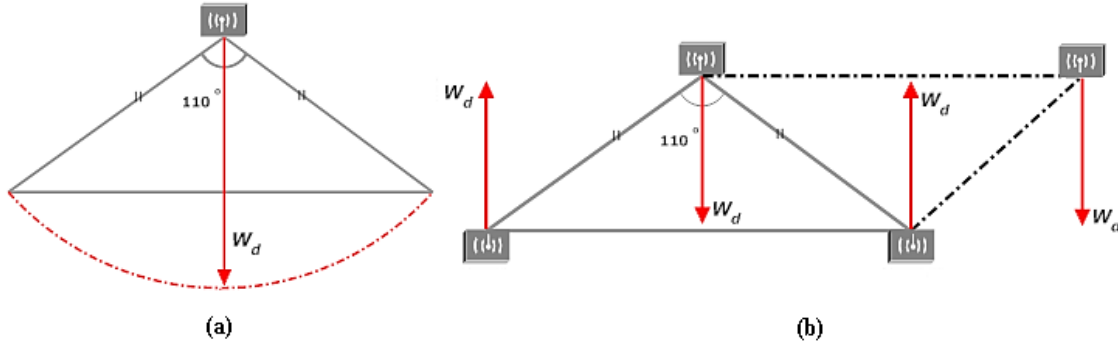
$$GA = \frac{r^2 \sqrt{3}}{4} \quad AY = \frac{1}{(r^2 \sqrt{3})/4} \approx 2,31/r^2 \quad (3.6)$$

#### 110° tepe açılı ikizkenar üçgen yerleştirme

Bu yerleştirme stratejisinde ikizkenar üçgenin tepe açısı olarak PKÖ algılayıcı düğümünün görüş açısına eşit olan 110° tercih edilmiştir. İkiz olan kenarların uzunluğu ise PKÖ algılayıcı düğümünün algılama yarıçapına eşittir. Her bir ikizkenar üçgen bölgesini tam olarak kapsayabilmek için üçgenin tepe noktasına bir adet algılayıcı düğüm yerleştirilmiştir. Şekil 3.4(a)'da yerleştirilen algılayıcı düğümün çalışma yönü gösterilirken, Şekil 3.4(b)'de 4 adet algılayıcı düğüm ile örnek bir 110° tepe açılı ikizkenar üçgen yerleştirme senaryosu oluşturulmuştur.

Her bir ikizkenar üçgen için yerleştirilen bir adet algılayıcı düğüm tam kapsama için yeterli olmuştur. Bu yerleştirme stratejisi için algılayıcı yoğunluğu aşağıdaki adımlarda hesaplanmaktadır;

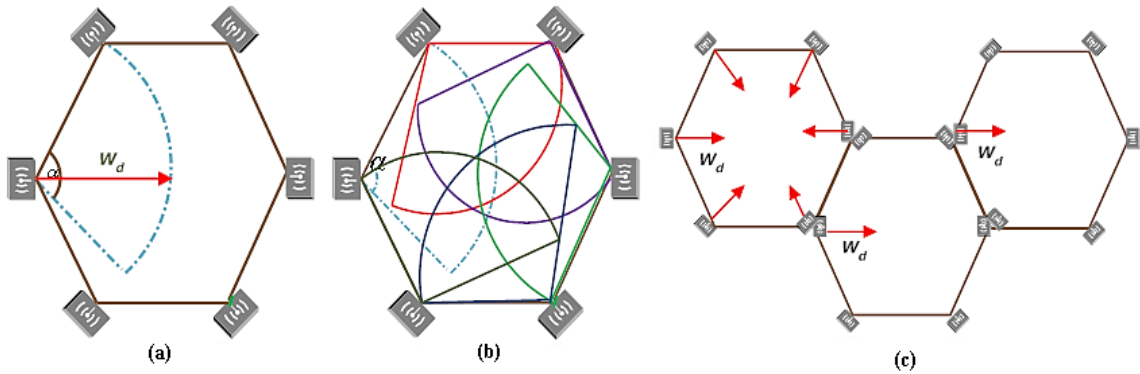
$$GA = \frac{r^2 \times \sin(110)}{2} \quad AY = \frac{1}{0,4698 \times r^2} \approx \frac{2,13}{r^2} \quad (3.7)$$



Şekil 3.4. 110° tepe açılı ikizkenar üçgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) 4 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu

### 3.1.4. Altıgen yerleştirme şeması

Bu yerleştirme şemasında izlenen alan altıgen şekillere bölünmüştür. Algılayıcı düğümler her bir altıgenin köşesine bir algılayıcı düğüm olacak şekilde alana dağıtılmıştır. Dolayısıyla her bir altıgen için altı adet algılayıcı düğüm kullanılmıştır. Altıgenin karşılıklı köşelerine yerleştirilen algılayıcı düğümler birbirlerine bakmaktadır. Altıgen şeklin her bir kenarı PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapına eşittir. Şekil 3.5(a)'da altıgene yerleştirilen algılayıcı düğümlerin çalışma yönleri, Şekil 3.5(b)'de algılayıcı düğümlerin altıgen şekil içerisindeki kapsama alanı ve Şekil 3.5(c)'de ise örnek bir altıgen yerleştirme şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Altıgen yerleştirme şeması a) çalışma yönü b) toplam kapsama alanı c) 18 algılayıcı düğüm ile örnek yerleştirme senaryosu

Her bir altıgen için yerleştirilen altı adet algılayıcı düğüm tam kapsama için yeterli olmuştur. Bu yerleştirme stratejisi için algılayıcı yoğunluğu aşağıdaki adımlarda hesaplanmaktadır;

$$GA = \frac{r^2 3\sqrt{3}}{2} \quad AY = \frac{6}{(r^2 3\sqrt{3})/2} \approx 2,31/r^2 \quad (3.8)$$

PKÖ algılayıcı yerleştirme yaklaşımlarının teorik analizinin yapıldığı bu bölümde, her bir geometrik şekil tabanlı yerleştirme senaryosu açıklanmış ve bu senaryolarda tam kapsamanın sağlanabilmesi için gerekli algılayıcı düğüm yoğunluğu hesaplanmıştır. Yerleştirme senaryolarında temel tasarım problemi, tespit edilecek hedef sayısını en üst seviyede tutarken en az sayıda algılayıcı düğüm kullanmaya çalışmaktır. Teorik analizler göstermektedir ki en az sayıda algılayıcı düğüm yoğunluğu kare yerleştirme şeması tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla kare yerleştirme şeması, PKÖ algılayıcı yerleştirme problemi için en uygulanabilir şema olarak tespit edilmiştir.

### 3.2. Performans Değerlendirmesi

KAA'da genellikle algılayıcı düğümlerin iletişim mesafesi algılama mesafesinden daha uzundur. Bundan dolayı, yerleştirme senaryolarını değerlendirme işlemi sadeleştirmek için algılayıcı düğüm iletişimi ele alınmamış, sadece PKÖ algılayıcılarının algılama işlemleri analiz edilmiştir. Bir önceki bölümde belirtildiği gibi, algılayıcı düğümler izlenen alana farklı yerleştirme stratejileri ile yerleştirilmiştir. Yapılan teorik analizler sonucunda kare yerleştirme yöntemi PKÖ algılayıcı yerleştirme problemi için en uygulanabilir yerleştirme şeması olarak tespit edilmiştir.

Yapılan teorik analizi doğrulamak ve önerilen her bir yerleştirme şemasını daha ayrıntılı test etmek için Java tabanlı bir benzetim ortamı geliştirilmiştir. Teorik analizler sırasında önerilen yerleştirme senaryolarına ek olarak rastgele yerleştirme senaryosu da gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalar sırasında referans olarak kullanılmıştır. Geliştirilen benzetim ortamında şu metrikler değerlendirilmiştir: yerleştirme senaryosu için gerekli algılayıcı düğüm sayısı olarak maliyet, hedef tespit oranı olarak performans ve bir hedefi birim zamanda tespit eden ortalama algılayıcı düğüm sayısı olarak artıklık.

Benzetim çalışması sırasında ilk olarak, izlenen alan içerisinde farklı pozisyonlarda oluşturulan hedeflerin algılayıcı düğümler tarafından tespit edilme başarımı kullanılarak önerilen yerleştirme şemalarının performansı değerlendirilmiştir. Sonrasında benzetim ortamının ürettiği sonuçlar kullanılarak aşağıdaki soruların cevapları aranmıştır:

- Yerleştirme stratejine göre hedef tespit oranı nasıl bir değişiklik göstermektedir?
- Yerleştirme stratejisinin maliyeti nedir?
- Her bir yerleştirme stratejisinin etkinliği nedir?

### 3.2.1. Hedef sektör içinde testi

Hedef Sektör içinde Testi (HST) [44], izlenen alan içerisinde herhangi bir pozisyonda oluşturulan hedefin bir algılayıcı düğümün algılama alanı içerisinde olup olmadığının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Benzetim sırasında HST testinin gerçekleştirilmesi aşağıdaki adımlarda özetlenmiştir;

- Algılayıcı düğüm A ile hedef H arasındaki mesafenin PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapına eşit ya da daha az olup olmadığı kontrol et. Bu kontrolün yapılma amacı hedefin ilk olarak algılama mesafesi içerisinde olduğundan emin olmaktır.

$$\left\| \overrightarrow{AH} \right\| \leq r \quad (3.9)$$

- Algılayıcı düğümün bulunduğu noktadan algılama mesafesi kadar uzaklıkta ve algılayıcı düğümün baş açısı yönünde yer alan noktaya kadar devam eden çalışma yönü vektörünün ( $W_d$ ) koordinatlarını hesapla.
- Algılayıcı düğümün bulunduğu noktadan hedefin bulunduğu noktaya kadar devam eden uzaklık vektörünü (AH) hesapla ve koordinatlarını belirle.
- Çalışma yönü vektörü ile uzaklık vektörünün iç çarpımını gerçekleştir. Son olarak hedefin algılayıcı düğümün algılama alanı içerisinde yer aldığından emin olmak için aşağıdaki kontrolü yap;

$$\overrightarrow{W_d} \cdot \overrightarrow{AH} \geq \left\| \overrightarrow{AH} \right\| \times \cos(\alpha/2) \quad (3.10)$$

HST testi, yönlü algılayıcıların kullanıldığı KAA için hedef tabanlı kapsama çözümlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geliştirdiğimiz benzetim ortamında hedef tespit oranlarının belirlenmesi için HST testi kullanılmıştır.

### 3.3. Benzetim Sonuçları

İlk olarak gözetleme KAA benzetimini gerçekleştirmek ve algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisi ile hedefin tespit edilme zamanını analiz etmek amacıyla oluşturulan sınır gözetleme senaryosuna [44] benzer bir benzetim senaryosu oluşturuldu. Daha sonra, oluşturulan senaryoda performans değerlendirme kıstaslarımıza göre önerilen PKÖ yerleştirme şemaları değerlendirildi. Benzetim sırasında algılayıcı düğüm iletişimi dikkate alınmadı ve sadece PKÖ algılayıcılarının algılama süreci modellendi.

#### 3.3.1. Benzetim ortamı

Önerilen yerleştirme senaryolarını değerlendirmek amacıyla Java tabanlı benzetim ortamı oluşturuldu. Algılayıcı yerleştirme ve hedef tespit bileşenleri 100 kere çalıştırıldıktan sonra önerilen yerleştirme şemalarını karşılaştırmak için toplanan verilerin ortalama değerleri kullanıldı.

Benzetimde ilk olarak hedefler izlenen alan içerisine dağıtıldı. Her bir hedefin pozisyon bilgileri üniform, gaussian ve rastgele dağılımlar kullanılarak oluşturuldu. Her bir hedef dağılımı için algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgileri hesaplandı ve izlenen alan ilgili yerleştirme şemasında kullanılan geometrik şekle göre bölgelere ayrıldı. Ayrıca rastgele yerleştirme yaklaşımı da gerçekleştirilerek önerilen yerleştirme şemalarının karşılaştırılmasında referans olarak kullanıldı. Hedefler, algılayıcı düğümler ve izlenen alan işlemleri tamamlandıktan sonra HST testi hangi hedeflerin tespit edildiği ve tespit edilen hedeflerin hangi algılayıcı düğümler tarafından algılandığı sorularına cevap bulmak için uygulandı. Sonuç olarak, uygulanan HST testinden elde edilen sonuçlar, değerlendirme sürecinde kullanılmak üzere veri setine dönüştürüldü. Benzetim sonuçları, sırasıyla çalıştırılan benzetimden elde edilen 100 farklı veri setinin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

İzlenen alanın uzunluk ve genişlik bilgisi, yerleştirilmek istenen algılayıcı düğüm sayısı, yerleştirme şeması, algılayıcı düğüm için algılama yarıçapı ve görüş açısı, üretilen hedef sayısı ve hedef dağılımı benzetim tarafından kontrol edilen parametrelerdir. Bu parametreler değiştirilerek farklı senaryolar oluşturulup sonuçlar analiz edilebilmektedir. Parametrelerin özeti ve oluşturulan senaryoda verilen değerler Çizelge 3.2'de



gösterilmiştir. İzlenen alanın uzunluk ve genişlik değerleri benzetimde kolaylık olması açısından PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapının katları olacak şekilde seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Benzetim parametreleri

Parametre	Açıklama	Değer
$l, w$	İzlenen alanın uzunluk ve genişlik değerleri	60 x 40 metre
$N_s$	Algılayıcı düğüm sayısı	36
$DS$	Yerleştirme şeması	RASTGELE, KARE, ÜÇGEN_60, ÜÇGEN_110, ALTİGEN
$R$	PKÖ algılayıcısının algılama yarıçapı	10 metre
$AoV$	PKÖ algılayıcısının görüş açısı.	110 derece
$NT$	Hedef sayısı	100
$TD$	Hedef dağılım türü	RASTGELE, ÜNİFORM, GAUSSIAN

### 3.3.2. Yerleştirme stratejisinin hedef tespit oranına etkisi

Rastgele yerleştirme yaklaşımı ile önerdiğimiz yerleştirme şemaları her bir hedef dağılımına göre karşılaştırılmış ve performansları analiz edilmiştir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi önerdiğimiz yerleştirme şemaları, üniform ve rastgele hedef dağılımlarında rastgele yerleştirme yaklaşımına göre daha yüksek hedef tespit başarımı gerçekleştirmiştir. Hedeflerin gaussian dağılımına göre dağıtıldığı senaryoda ise sadece eşkenar üçgen yerleştirme şeması rastgele yerleştirme yaklaşımından daha düşük performans göstermiştir. Ayrıca gaussian dağılımında hedefler belirli bir bölgede toplandığı için bütün yerleştirme şemalarında düşük oranlarda hedef tespit doğruluğu elde edilmiştir. Hedeflerin izlenen alana rastgele bir dağılımla yerleştirildiği senaryoda kare yerleştirme şeması ile neredeyse %100 hedef tespit oranına ulaşarak en yüksek başarımları elde edilmiştir. Yerleştirme stratejilerinin hedef tespit oranına etkisinin analiz etmek için  $N_s$  değeri 36 olarak seçilmiştir. Dolayısıyla bütün yerleştirme senaryolarının performansı beklendiği gibi %100'den daha düşük oranlarda olmuştur.

### 3.3.3. Algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisi

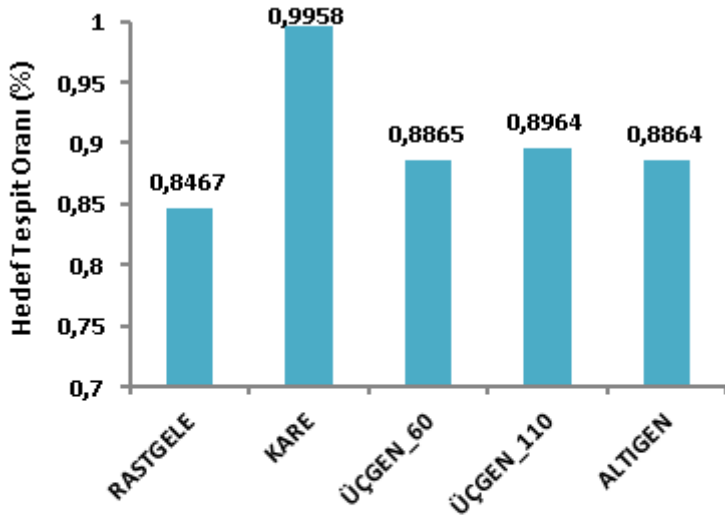
Algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisini bulmak için farklı algılayıcı düğüm sayılarının kullanıldığı benzetim senaryoları kullanılmıştır. Algılayıcı düğüm sayısı parametresine  $N_s = 12, 24, 36$  ve  $48$  değerleri verilmiştir. Ayrıca hedefler izlenen alana üniform dağılım kullanılarak yerleştirilmiştir. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere algılayıcı düğüm sayısının artması ile birlikte hedef tespit oranı bütün yerleştirme şemaları için doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Algılayıcı düğüm sayısı 12 olarak seçildiğinde eşkenar üçgen yerleştirme şeması diğer yerleştirme şemalarından daha yüksek başarımlar göstermiştir. Daha sonra algılayıcı düğüm sayısının artmasıyla birlikte kare yerleştirme şeması daha yüksek performans artışı göstermiş ve hedef tespit oranı düğüm sayısının 48 olduğu senaryoda %100’lük bir başarı elde etmiştir.

### 3.3.4. Hedef dağılımının hedef tespit oranına etkisi

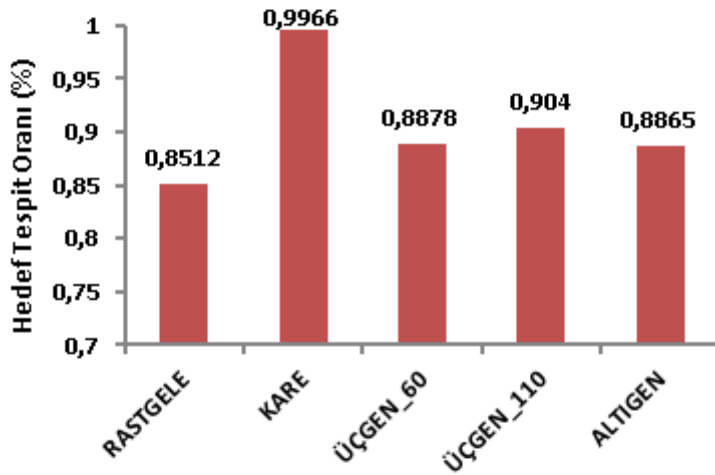
Hedef dağılımının hedef tespit oranına etkisi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bütün yerleştirme şemaları hedef gaussian dağılımına göre yerleştirildiği zaman düşük performans sergilenmiştir. Hedef tespit oranı açısından üniform ve rastgele dağılımla hedeflerin yerleştirildiği senaryolar benzer sonuçlar göstermektedir. Kare yerleştirme şeması bütün hedef dağılımlarında en yüksek hedef tespit oranına sahip olmuştur. Diğer taraftan üçgen ve altıgen yerleştirme şemaları birbirlerine çok yakın hedef tespit başarımları yakalamışlardır.

### 3.3.5. Algılayıcı yerleştirme şemalarının hedef tespit artıklığı

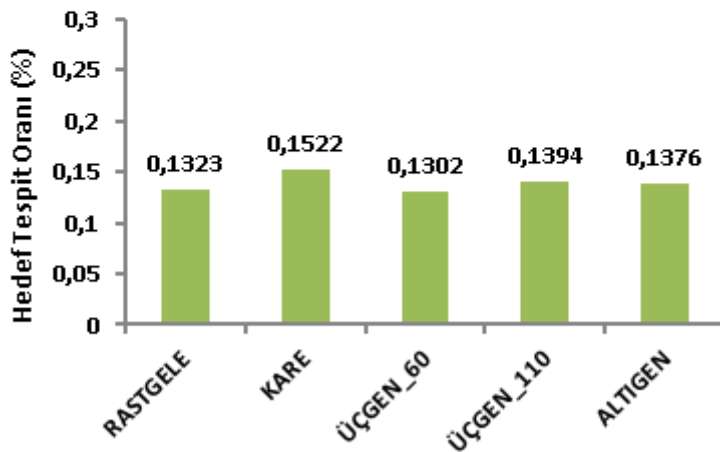
Algılayıcı yerleştirme şeması ile hedefi tespit eden ortalama algılayıcı düğüm sayısı arasındaki ilişki Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Birbirine bakan algılayıcı düğümler arası mesafe ve birim geometrik şekil içerisinde etkin kapsama alanı parametrelerinde daha iyi olduğu için, kare yerleştirme şeması hedef tespit artıklığı göz önünde bulundurulduğunda diğer yerleştirme şemalarından daha iyi performans göstermiştir. Altıgen yerleştirme şeması üçgen yerleştirme şeması ile çok yakın sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Diğer taraftan  $110^\circ$  tepe açılı ikizkenar üçgen yerleştirme şeması daha az çakışan algılama bölgesi sunduğu için altıgen ve eşkenar üçgen yerleştirme şemalarından daha başarılı olmuştur.



(a)

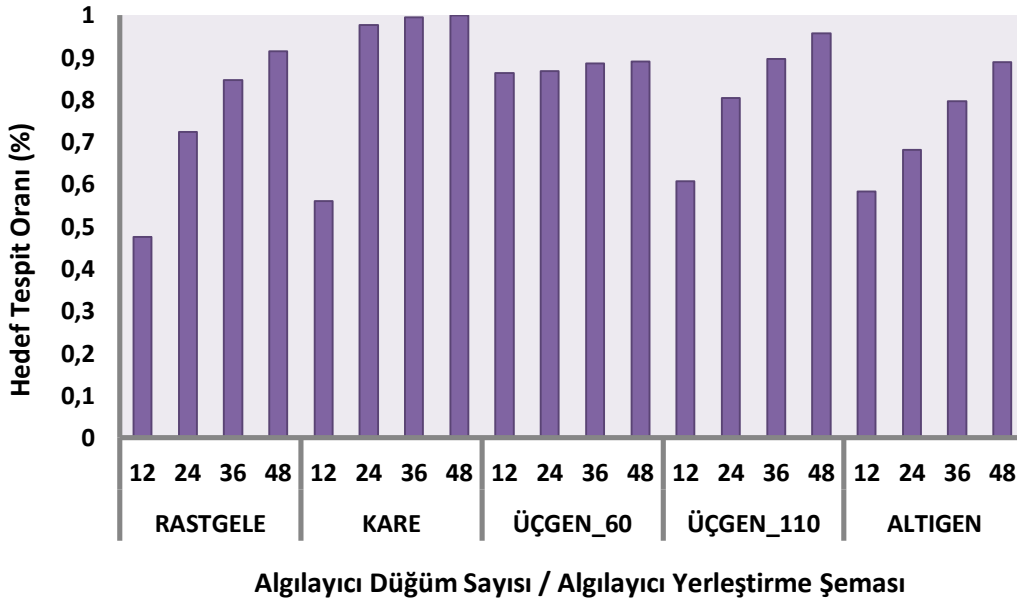


(b)

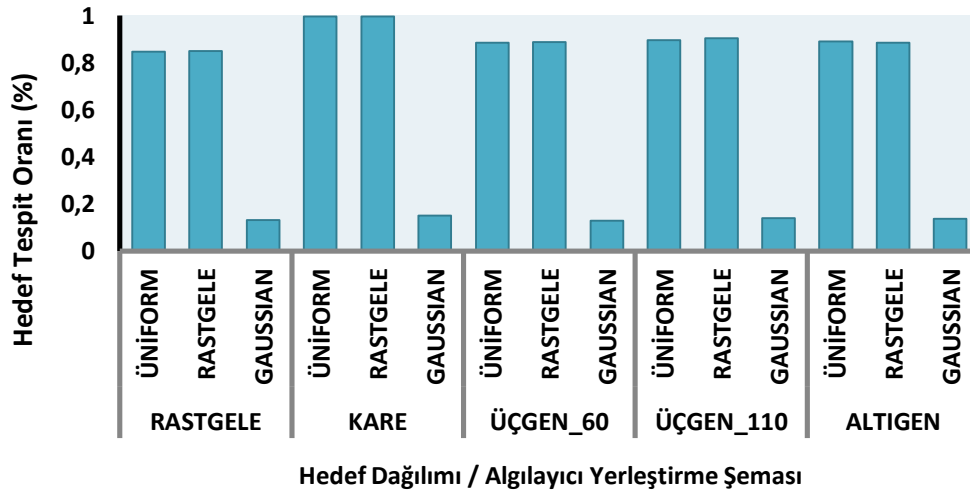


(c)

Şekil 3.6. Yerleşim stratejisinin hedef tespit oranına etkisi a) üniform hedef dağılımı b) rastgele hedef dağılımı c) gaussian hedef dağılımı



Şekil 3.7. Algılayıcı düğüm sayısının hedef tespit oranına etkisi

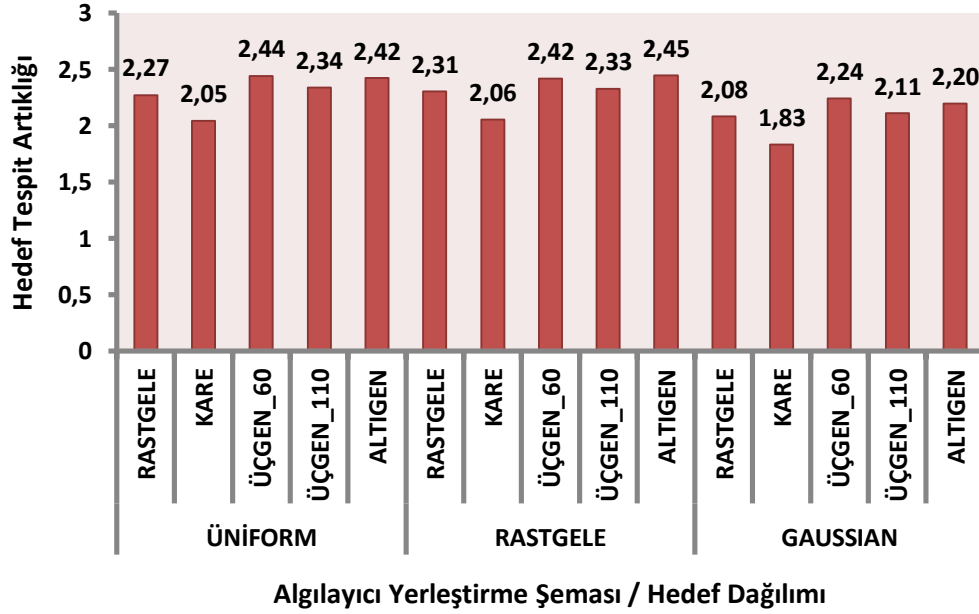


Şekil 3.8. Hedef dağılımının hedef tespit oranına etkisi

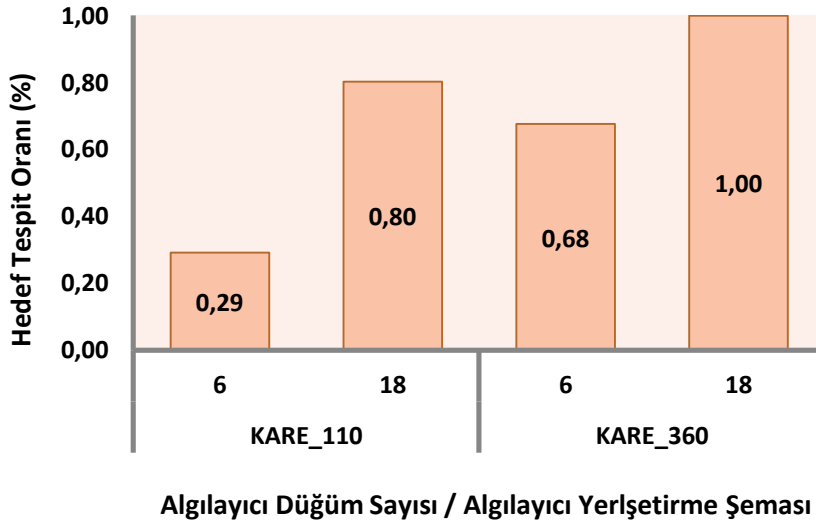
### 3.3.6. Algılayıcı görüş açısının hedef tespit oranına etkisi

Algılayıcı görüş açısının hedef tespit oranına etkisini belirlemek için kare yerleştirme şeması farklı algılayıcı düğüm sayıları ve görüş açıları ile analiz edilmiştir. Benzetim algılayıcı düğüm sayısı  $N_s = 6, 18$  ve algılayıcı görüş açısı  $AOV = 110^\circ$  ve  $360^\circ$  değerleri ile koşulmuştur. Ayrıca hedefler izlenen alana üniform dağılım ile yerleştirilmiştir. Şekil 3.10'de gösterildiği gibi algılayıcı düğümün görüş açısı hedef tespit oranını doğrudan etkilemektedir. Daha az sayıda her yönü görebilen algılayıcı düğüm izlenen alanın tamamını

kapsamak için yeterli olmaktadır. Bundan dolayı her yönü görebilen algılayıcılar ile karşılaştırıldığında yönlü PKÖ algılayıcılar için yerleştirme stratejileri daha fazla önem arz etmektedir.



Şekil 3.9. Algılayıcı yerleştirme şemalarının hedef tespit artıklığı



Şekil 3.10. Algılayıcı görüş açısının hedef tespit oranına etkisi



#### 4. KAA GÜVENLİK GEREKSİNİMLERİ

Hedef izleme ve güvenlik gözetimi gibi askeri ve sivil KAA uygulamalarında güvenlik çok önemli bir problemdir. Bununla birlikte düşük KAA oluşturulma maliyeti gereksinimden dolayı algılayıcı düğümler çok basit donanımlardan oluşmaktadırlar ve çok fazla kaynak kısıdına sahiptirler. Hesaplama, iletişim, hafıza, depolama alanı ve enerji kaynaklarındaki kısıtlar birçok güvenlik algoritmasını KAA için uygulanamaz hale getirmektedir. Bundan dolayı algılayıcı düğümler tarafından algılanıp ağ üzerine gönderilen hassas verilerin korunması için enerji etkin güvenlik çözümleri sunmak çok kolay bir iş değildir [46-50].

Saldırlara karşı dayanıklı algılayıcı düğümler yüksek maliyetlerinden dolayı çoğu zaman KAA oluşturulması aşamasında göz ardı edilmektedirler. Diğer taraftan algılayıcı düğümlerin güvenliği sağlanmadığı zaman fiziksel olarak saldırılara uygun hale gelmektedirler. Algılayıcı düğüm bir kere ele geçirildiğinde, saldırganlar tarafından yeniden programlanabilir ve böylece KAA üzerinde çeşitli saldırılar gerçekleştirilebilir. KAA'da yer alan diğer algılayıcı düğümler ele geçirilen düğümleri tespit edemeyecekleri için saldırganlar KAA üzerindeki bilgi akışını ve algılayıcı düğümler arası iletişimi kolaylıkla sabote edebileceklerdir. Ayrıca, KAA üzerine kötücül mesajlar yayınlamak suretiyle yanlış hedef tespit alarmı gibi durumlar oluşturarak KAA'nın daha fazla enerji tüketmesine ve görevini sağlıklı bir şekilde ifa edememesine sebep olacaktırlar [46-50].

KAA'nın kendine özgü özellikleri ve kısıtları onları geleneksel tasarsız ağlardan ayırmaktadır. KAA geleneksel tasarsız ağlarda karşılaşılmayan güvenlik problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bundan dolayı geleneksel tasarsız ağlar için geliştirilmiş güvenlik çözümleri KAA'ya uygulanamamaktadır. KAA'nın yerleştirildikleri ortama bağlı olarak temel güvenlik gereksinimleri vardır ve bu gereksinimlerin yerine getirilmesi için güvenlik problemi KAA'nın tasarım aşamasında ele alınması gerekmektedir. Son olarak önerilen güvenlik protokolünün, ele geçirilen algılayıcı düğüm durumunu ele alması ve güvenlik gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. [46-50].

#### 4.1. KAA Güvenlik Gereksinimlerine Bütüncül Bakış

Bütüncül güvenlik yaklaşımı değişken ortam koşulları altında güvenlik, uzun ağ ömrü ve servis kalitesi kıstasları açısından KAA performansını arttırmayı hedeflemektedir. Tek bir KAA katmanı için geliştirilen bir güvenlik çözümü kullanışlı olmayacağı için bütüncül güvenlik yaklaşımı, Şekil 4.1’de gösterildiği gibi tüm KAA katmanlarını dikkate alarak güvenlik çözümleri geliştirmeyi önermektedir [51].



Şekil 4.1. KAA’da bütüncül güvenlik yaklaşımı

Bütüncül güvenlik yaklaşımına göre güvenlik problemini, bütün KAA katmanları için ele alınması gerekmektedir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak eğer bir algılayıcı düğüm saldırganlar tarafından ele geçirilirse ya da fiziksel olarak engellenirse, tüm KAA için güvenlik açığı ortaya çıkmış olur. Bundan dolayı güvenlik protokolü tasarlarken bütüncül güvenlik yaklaşımı dikkate alınırsa KAA’nın saldırılara karşı daha dirençli bir yapıya sahip olması sağlanmış olacaktır [51].

#### 4.2. Güvenlik Gereksinimleri

Önceki bölümde de bahsettiğimiz gibi güvenlik problemi KAA’lar için önemli bir tasarım kıstasıdır. Bu bölümde birçoğu geleneksel kablolu ağlarda da görülen güvenlik



gereksinimleri KAA'lar açısından ele alınacak ve örneklerle kritik alan gözetleme sistemlerinde hedef tespit ve takip süreçleri ile olan ilişkisi anlatılacaktır. [46, 49, 52-54].

#### 4.2.1. Veri gizliliği

Veri gizliliğinin sağlanabilmesi için algılayıcı düğümler tarafından kaydedilen hassas verilerin ağa sızmak isteyenlerin eline geçmeyeceği garanti edilmelidir. Özellikle kritik alan gözetleme uygulamalarında, algılayıcı düğümler arasında güvenli iletişim kanallarının oluşturulması oldukça önemlidir. Güvenli iletişim kanalları oluşturularak gizli anahtarlar, algılayıcı tanımlamaları ve yönlendirme bilgileri gibi yüksek hassasiyetteki verilerin korunması sağlanmış olacaktır.

Kötücül ataklardan standart korunma yöntemi algılanan verinin gizli bir anahtar ile şifrelenmesidir. Gizli anahtar altyapısına dayalı şifreleme algoritmaları düşük enerji tüketimlerinden dolayı KAA'da veri gizliliğinin sağlanması amacıyla kullanılmaktadırlar. Sonuç olarak veri gizliliği gereksinimini yerine getirmek için tasarlanan güvenlik çözümlerinin şu problemleri ele alması gerekmektedir [46, 49, 52-55];

- Bir algılayıcı düğüm hedefe dair topladığı bilgileri komşu algılayıcı düğümleri ile yetkilendirilmedikleri sürece paylaşmamalıdır.
- Anahtar dağıtım mekanizması kesinlikle dayanıklı olmalı ve algılayıcı düğümlerin açık anahtarları ve kimlikleri gibi bilgiler her an kötücül atak olma ihtimaline karşı şifrelenmelidir.

Hedef tespit ve takip protokolleri çoğunlukla şifrelenmiş verileri bir araya getiremezler. Bunun için bir düğüme gelen şifrelenmiş veri önce çözülmeli ve bütün veriler birleştirildikten sonra tekrardan şifrelenmelidir. Bu şifreleme/çözme işlemleri hem veri iletiminde gecikmelere ve daha fazla enerji tüketimine sebep olurlarken hem de uçtan uca veri gizliliğini engellemiş olur [46, 49, 52-55].

#### 4.2.2. Veri bütünlüğü

Veri gizliliğinin sağlanması sadece istenilen kişilerin veriyi çözüp okumasını sağlayabilir; fakat verinin değiştirilmediğini garanti edemez. Verinin bütünlüğünün sağlanabilmesi için veri iletim mesajının kesintiye uğramaması gerekmektedir. Veri kümeleme işleminin

sonucu olarak toplanan veride değişiklik meydana gelmektedir. Bundan dolayı veri kümeleme tabanlı hedef tespit ve takip protokolü kullanılan KAA'da uçtan uca veri bütünlüğünün varlığından bahsedilemez. Diğer taraftan, ele geçirilen düğümler algılayıcı düğümler tarafından toplanan verilerin iletim mesajlarını dinleyebildikleri için toplanan verileri bozup tekrar gönderebilirler ya da veriyi hiç göndermeyebilirler. Bundan dolayı kablosuz iletişimde veri bütünlüğünün korunması oldukça zordur.

Veri bütünlüğünün sağlanabilmesi için mesaj doğrulama kodları(MAC) ya da devirli kodlar KAA'da kullanılmaktadır. IEEE 802.15.4 standardında mesaj doğrulama kodları ifadesi OSI (Ing. Open Systems Interconnection) veri iletim katmanı ile karıştırılmaması için mesaj bütünlüğü kodları (MIC) olarak ifade edilmiştir [46, 49, 52, 53].

#### **4.2.3. Veri tazeliği**

Veri gizliliği ve bütünlüğüne ek olarak, veri tazeliği gereksinimi ise KAA'nın tekrar ataklarına karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Veri tazeliğinin sağlanması iletilen verinin her zaman güncel olduğu ve kötücül algılayıcı düğümlerin eski mesajları tekrar etmediği anlamına gelmektedir. Bu gereksinim paylaşılan anahtar altyapısı kullanan doğrulama mekanizmaları kullanıldığı zaman oldukça önemli bir hale gelmektedir. Paylaşılan anahtarların zamanla değiştirilmesi gerekmesine rağmen, yeni üretilen anahtarın KAA ile paylaşılması zaman almaktadır. Bu durumda kötücül algılayıcı düğümlerin tekrar ataklarını gerçekleştirmeleri oldukça kolaylaşmaktadır. Tekrar atakların gerçekleşmesini önlemek için KAA içerisinde algılayıcı düğümlerin gönderdiği veri paketlerine paket gönderim zamanı eklenebilir [50, 52, 54].

Kritik alan gözetleme sistemleri gibi gerçek zamanlı veri akışının önemli olduğu uygulamalarda kullanılan hedef tespit ve takip yöntemlerinin de veri tazeliğini sağlaması gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için önerilen yöntemin iletişim ve hesaplama yükünün çok fazla olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde hedef izlenen alandan tespit edilmeden ayrılabilir.

#### 4.2.4. Kaynak doğrulaması

Birçok KAA uygulamasında algılayıcı düğümler, kötücül niyetle ağa dâhil edilmiş veri paketlerini engellemek için kaynak doğrulama mekanizmasına ihtiyaç duyarlar. Kaynak doğrulama gereksinimi hedefi izleyen algılayıcı düğümlerin birbirlerini tanımlamalarına olanak sağlamakta ve yetkisiz ya da kötücül algılayıcı düğümlerin hedef izleme sürecine dâhil olmalarına engel olmaktadır. Eğer kaynak doğrulama gerçekleştirilmez ise ağa sızma isteyenler bir algılayıcı düğümü ele geçirip daha sonra algılayıcı düğümler arası veri iletimini kesintiye uğratabilir. Dahası yanlış veri paketleri ağa dâhil edilerek veri bütünlüğü bozulabilir. Eğer sadece iki algılayıcı düğüm iletişim haline ise kaynak doğrulama, simetrik anahtar şifreleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte, KAA’da kullanılan algılayıcı düğüm sayısı oldukça fazla olduğu için daha karmaşık çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. “Sybil” olarak adlandırılan ve sahte algılayıcı düğüm kimlikleri ile gerçekleştirilen saldırılar kritik alan gözetleme uygulamaları için büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu tür saldırılardan korunmak için hedef izleme işlemi üstlenmiş algılayıcı düğümlerin simetrik anahtar şifreleme tekniklerinden daha karmaşık olan  $\mu$ TESLA gibi teknikleri kullanması gerekmektedir [46, 49, 52, 53].

#### 4.2.5. Geçerlilik

Kritik alan gözetleme uygulamalarında algılayıcı düğümlerin geçerliliği oldukça önemlidir. Geçerlilik KAA servislerinin “Servis Reddi (Denial-of-Service -DoS)” olarak adlandırılan ataklara karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Eğer bir KAA’nın servis erişimi koparsa, algılayıcı düğümlerin hedef izleme işlemi verimli bir şekilde devam edemez. Bu durum çok kötü sonuçlar ortaya çıkarabilir. Örneğin, askeri bir hedef izleme uygulamasında eğer bazı algılayıcı düğümler bir şekilde servis dışı kalırsa, saldırganlar bu düğümleri kötücül atakları için kullanabilirler. Diğer taraftan, karmaşık çözümler güvenlik gereksinimlerini karşılarken KAA üzerinde çok fazla iletişim ve hesaplama yükü oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu durum KAA’nın daha fazla enerji tüketmesi anlamına gelmektedir. Eğer yeterince enerji kaynağı olmaz ise algılayıcı düğümler topladıkları hedef verilerini iletemezler. Ayrıca, güvenlik gereksinimlerini karşılamak için merkezi yaklaşımlar kullanıldığı zaman, KAA’nın geçerliliği merkezi algılayıcı düğümün seviş dışı kalması ile son bulmaktadır. Sonuç olarak KAA’nın geçerliliğini kaybetmeden bütün ağın güvenlik gereksinimlerini karşılamak çok kolay bir iş değildir. [46, 49, 52-54].

#### 4.2.6. Güvenli konumlandırma

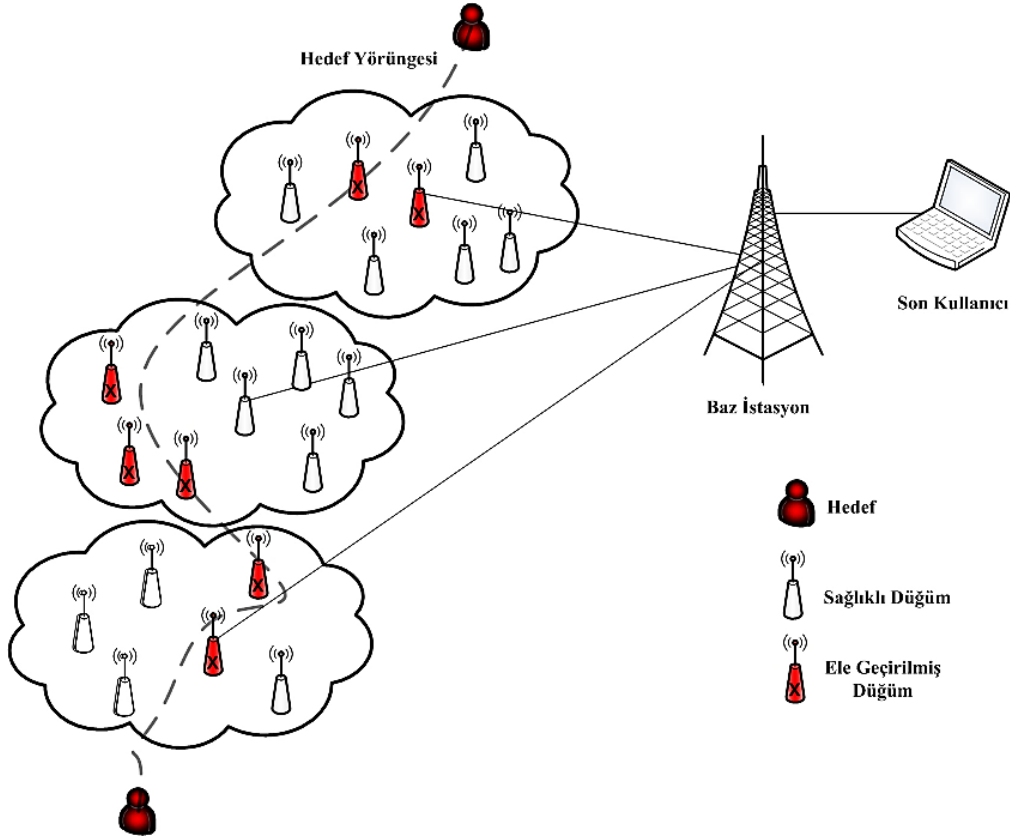
Algılayıcı düğümlerin pozisyonlarının güvenli konumlandırılması KAA için oldukça kritik bir gereksinimdir. Güvenliği sağlanmayan algılayıcı düğümün konum bilgileri; yanlış sinyal, kuvveti raporlama ya da sinyal atlatma gibi ataklar kullanılarak değiştirilebilir. Bundan dolayı, algılayıcı düğümlerin konum bilgilerinin güvenli bir şekilde tespit edilebilmesi için çeşitli teknikler önerilmektedir. Önerilen tekniklerden bir tanesinde algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgileri bilinen referans noktaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Diğer bir yöntemde ise algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgilerini ileten konuşlandırıcılar kullanılmıştır. Bu bilgi, algılayıcı düğümüne önceden yüklenmiş olan paylaşılan global simetrik anahtarlar kullanılarak şifrelenmektedir [46, 54].

Algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgilerinin tespit doğruluğu arttıkça, KAA kritik alan gözetleme sürecinde daha verimli çalışmaktadır. Örneğin, orman bölgesine yerleştirilmiş ve yangın alarm sistemi olarak çalışan KAA'da algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgilerinin doğruluğu olası bir yangında kaynağın doğru olarak tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak KAA'da kullanılan hedef tespit ve takip protokollerinin performansı çoğunlukla algılayıcı düğümlerin pozisyon bilgilerinin doğru tespit edilmesi ile doğru orantılıdır [46, 54].

## 5. GÜVENLİ HEDEF İZLEME

KAA kablosuz ve tasarsız örgüsel ağların bir alt kümesidir ve kendi başına organize olma, iyileşme gibi karakteristiklere sahiptir. KAA'lar çoğunlukla gözetleme ve izleme amaçlı uzak ve tehlikeli alanlara kurulurlar. Algılayıcı alanında hedef takibi, özellikle askeri amaçlı KAA uygulamalarında çok önemli bir konu haline gelmiştir [1, 3, 7, 21, 56]. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi hedef takibinde temel amaç algılayıcı düğümün algılama mesafesine giren hedefin, pozisyonunun tespit edilmesi ve sonrasında da KAA'nın algılama alanını terk edene kadar takip edilmesidir. Ayrıca hedefin izlenmesi sürecinde bütün bilgilerin baz istasyona iletilmesi gerekmektedir. Böylece daha doğru ölçümlenmelerin yapılması sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte, hedef izleme algoritmaları genellikle yüksek hesaplama ve gerçek zamanlı iletişim kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Bu durum kısıtlı kaynakları olan algılayıcı düğümler için daha fazla enerji tüketimi ve daha kısa sürede servis dışı kalma anlamına gelmektedir. Örneğin, birçok geleneksel hedef izleme sistemi merkezi olmakla birlikte yoğun ve karmaşık sinyal işleme algoritmalarını kullanmasından dolayı kısıtlı kaynakları olan KAA'lar için uygulanamamaktadır. Dolayısıyla, KAA'lar için geliştirilen hedef izleme algoritmaları tasarlanırken enerji tüketimi, iletişim yükü ve güvenlik konularının ele alınması gerekmektedir.

Hedef izleme konusunda yapılan çalışmaların birçoğu enerji tüketimi ve iletişim yükü konularına odaklanmışken çok az sayıda çalışmada güvenlik konusu ele alınmıştır [1, 30, 33-35, 57-60]. Gerçek hayatta kritik alan gözetleme uygulamalarında kullanılan KAA'lar, insanlar tarafından erişimin zor olduğu ve tehlikeli olan alanlara kurulurlar. Bundan dolayı ağ içerisinde bulunan algılayıcı düğümler kötücül ataklar sonucu ele geçirilebilir ve ele geçirilen bu düğümler hedef izleme görevini gerçekleştiren diğer algılayıcı düğümler için ciddi tehlike oluşturabilirler. Dahası, ele geçirilen bu düğümleri fark etmek oldukça zordur ve geleneksel güvenlik çözümleri de KAA'nın kendine özgü kısıtlarından dolayı yetersiz kalmaktadır. Bir hedef izleme algoritmasının, ele geçirilen düğümlerin varlığında hedef izleme görevini güvenli ve enerji etkin bir şekilde gerçekleştirmesi gerekmektedir.



Şekil 5.1. KAA hedef izleme

Tez kapsamında yapılan çalışmada hem güvenlik hem de hedef izleme gereksinimlerini birlikte ele alan bir hedef izleme protokolü geliştirilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen protokolde temel olarak algılayıcı düğümler, komşu düğümlerinin hedef tespit ve takip aktivitelerini izlemekte ve bu izlenimler sonucunda beta itibar modeli kullanılarak her bir komşu düğümü için güven seviyesi hesaplamaktadırlar [63]. Önerilen protokol Java tabanlı geliştirilen benzetim ortamında değerlendirilmiştir. Elde edilen performans sonuçlarına göre önerilen güvenli hedef takibi protokolünün kullanılması, algılanan verinin güvenliğini sağlama ve ele geçirilen algılayıcı düğüm ve küme liderlerinin varlığında güvenli bir şekilde hedef izleme görevini yerine getirme olanakları sağlamaktadır.

### 5.1. Sistem Modeli ve Varsayımlar

Bu bölümde geliştirdiğimiz Beta İtibar ile Güvenli Hedef İzleme (BİGHİ) protokolümüzün sistem modeli ve bu modeli geliştirirken oluşturduğumuz varsayımlar kısaca anlatılmıştır. İlk olarak protokolün uygulanacağı KAA'nın karakteristikleri belirlenmiş daha sonra da hedef izleme sürecine dair bazı tasarım kararları alınmıştır;

- KAA uzak coğrafi alana dağıtılmış çok sayıda algılayıcı düğümde oluşmaktadır.
- Algılayıcı düğümler hava yoluyla ve rastgele izlenecek alana yerleştirilmiştir. Burada algılayıcı düğümlerin yerleştirilmesinde rastgele yaklaşımı kullanılmakla birlikte düğümlerin mümkün olduğunca bütün alanı kapsayacak şekilde yerleştirildikleri varsayılmıştır.
- Algılayıcı düğümlerin izlenen alana homojen bir şekilde yerleştirildiği varsayılmıştır.
- Algılayıcı düğümlerin GPS gibi konumlandırma servislerinin olduğu dolayısıyla her algılayıcı düğümün kendi pozisyonunu bildiği varsayılmıştır.
- Algılayıcı düğümler çok yönlü antenlere sahiptirler.
- Algılayıcı düğümlerin iletişim mesafesi  $r_c$  ve algılama mesafesi  $r_s$  olarak ifade edildiğinde iletişim mesafesinin algılama mesafesinden daha uzun olduğu varsayılmıştır.

$$r_c \geq 2 * r_s \quad (5.1)$$

- KAA'yı oluşturan toplam algılayıcı düğüm sayısı  $N_s$  ve ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısı ise  $N_c$  ile ifade edildiğinde ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısının toplam düğüm sayısına göre çok çok az oranda olduğu varsayılmıştır.

$$N_c \ll N_s \quad (5.2)$$

- Algılayıcı düğümlerin tespit edilen hedefin hızı ve yönü gibi hareketine dair bilgileri ölçebilecek kapasitede olduğu varsayılmıştır.
- Algılayıcı düğümler gerekli şifreleme altyapısına sahiptirler ve komşu düğümleri ile gizli anahtarlarını paylaşmaktadırlar.
- Hedef izleme sürecinin güvenli bir şekilde yapılması hedeflendiği için protokol kapsamında sadece veri bütünlüğü ve doğruluğuna yönelik yapılan saldırılar dikkate alınmıştır.

## 5.2. Hedef İzleme Sistemine Yapılacak Olası Ataklar

Hedef tespit ve takip yönünden bakıldığında, KAA'da yer alan algılayıcı düğümlerden kötücül ataklar sonucu ele geçirilen algılayıcı düğümler yapacakları yanlış ölçümler, tahminler ya da yanlış hedef tespit alarmları ile hedef izleme sürecinde aktif olarak görev alan algılayıcı düğümlerin hedef bilgilerini doğru bir şekilde almalarını engellemiş olacaklardır. Eğer hedefin izlediği doğrultuda ele geçirilen algılayıcı düğüm var ise bu düğümler hedefi tespit etmelerine rağmen küme liderini uyarmayacak ve hedefin belki de hiç fark edilmeden izlenen alandan geçmesine sebep olacaklardır.

Algılayıcı düğümler tarafından gerçekleştirilen bu tür ataklar küme lideri tarafından tespit edilebilir. Küme içerisinde bulunan diğer algılayıcı düğümlerden hedef tespitine dair mesaj gelmesine rağmen eğer bir düğümden mesaj gelmiyorsa bu durumda o düğüm ya servis dışı kalmıştır ya da ele geçirilen bir düğümdür. Bununla birlikte eğer ele geçirilen düğüm küme lideri ise bu durumda algılayıcı düğüm çeşitli ataklar gerçekleştirebilir. Küme liderinin gerçekleştireceği ataklar daha kötü sonuçlara sebep olabilir. Şöyle ki eğer hedef izlenen alan içerisinde sadece ele geçirilen küme liderinin bölgesinden geçiyorsa bu durumda küme lideri hedefe dair baz istasyona bir bilgi göndermeyecek ve hedef sistem tarafında tespit edilememiş olacaktır. Dahası ele geçirilen küme liderini tespit etmek çok zor olacağı için sistem hiçbir şekilde güvenlik uyarısı vermeyecektir.

Bu bölümde ele geçirilen algılayıcı düğümler ve küme liderlerinin hedef tespit ve takip sistemlerine karşı yapacakları olası ataklar kısaca anlatılmıştır.

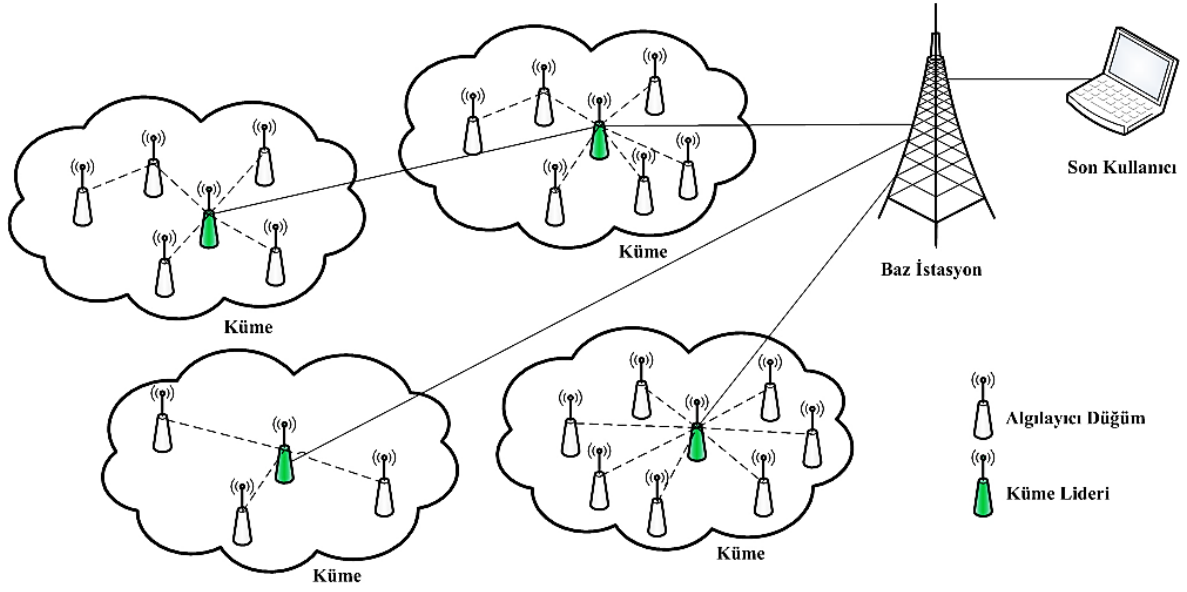
### **5.2.1. Küme liderinin seçimi**

Şekil 5.2'de gösterildiği gibi dinamik kümelemede küme lideri seçme işlemi algılayıcı düğümler tarafından gerçekleştirilmektedir. Eğer ele geçirilen algılayıcı düğümler belirli bir bölgede toplanmışlarsa bu düğümler küme lideri seçme işlemi olumsuz etkileyebilirler. Dahası ele geçirilen algılayıcı düğümlerden bir tanesi küme lideri olarak seçilebilir. Bu durumda ele geçirilen küme lideri ilerleyen bölümlerde anlatılacak olan atakları gerçekleştirebilir.

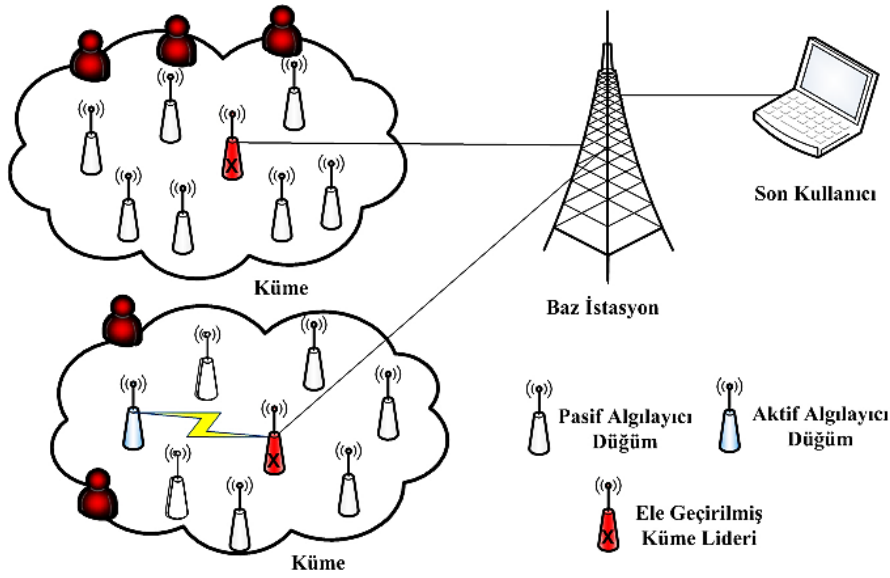
### **5.2.2. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi**

Hedef ele geçirilmiş küme liderinin bulunduğu kümeden izlenen alana giriş yaparsa Şekil 5.3'de gösterildiği gibi küme lideri hedefe en yakın algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi ya geciktirecek ya da hiç gerçekleştirmeyecektir. Bu durumda hedef izlenen alanda bir sonraki küme lideri tarafından algılanana kadar hedefin tespit edilememesi ve izlenememesine sebep olmaktadır.





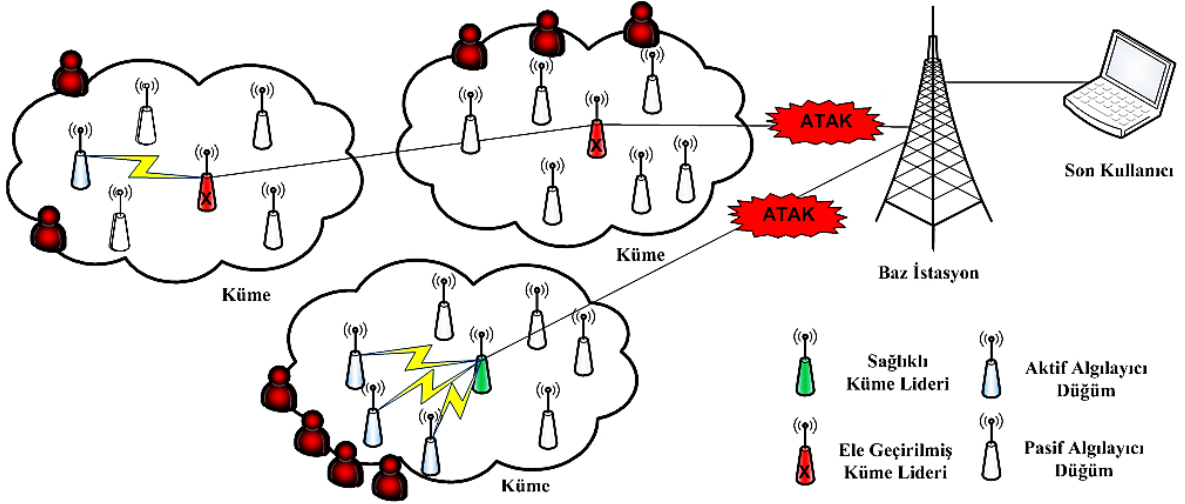
Şekil 5.2. Küme lideri seçme



Şekil 5.3. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi

### 5.2.3. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi

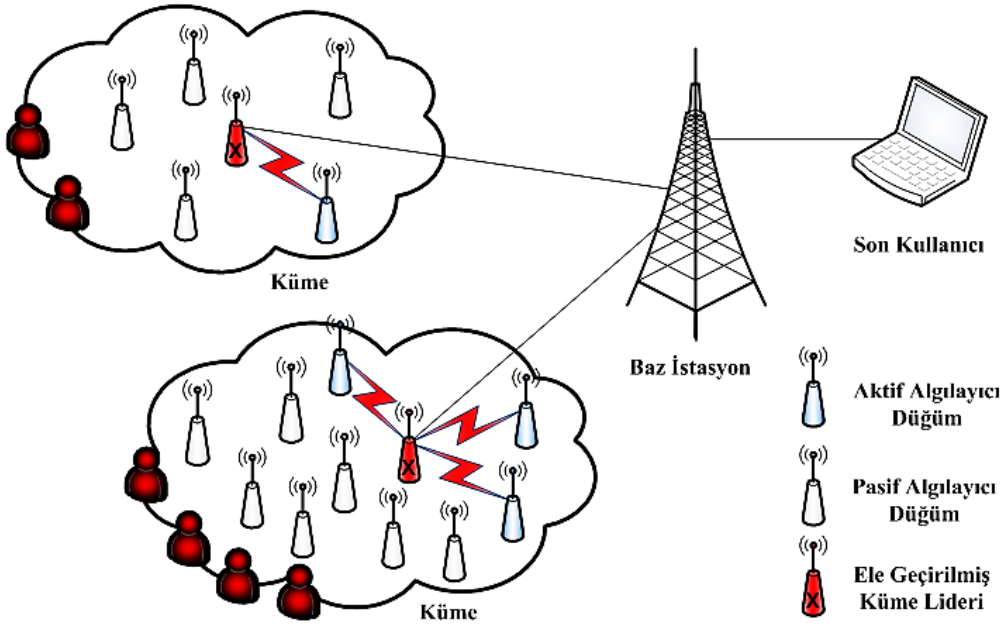
Ele geçirilmiş küme lideri hedef kümenin algılama alanına girdiği andan itibaren hedefe en yakın algılayıcı düğümleri uyandırma işlemini gerçekleştirebilir. Böylece hem algılayıcı düğümlerin bilgilerini hem de bu düğümlerin hedefe dair topladıkları bilgileri elde etmiş olacaktır. Bu aşamadan sonra Şekil 5.4'de gösterildiği gibi küme lideri hedef bilgilerini baz istasyona iletmeyerek hedefin pozisyonunun tam olarak tespit edilememesine sebep olabilir. Böylece hedef izleme işlemi başarısız olacaktır.



Şekil 5.4. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi

#### 5.2.4. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması

Bu senaryoda ele geçirilmiş olan küme lideri hedefe en yakın olan algılayıcı düğümleri uyandırmak yerine Şekil 5.5’de gösterildiği gibi başka algılayıcı düğümleri uyandırmaktadır. Böylece hem hedef algılayıcı düğümler tarafından tespit edilememekte hem de gereksiz uyanık durumda kalan algılayıcı düğümler fazladan enerji tüketmektedirler.



Şekil 5.5. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması

### 5.2.5. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin işbirliğine girmeleri

KAA üzerine gerçekleştirilen kötücül ataklar sonucunda ele geçirilen algılayıcı düğümler saldırganlar tarafından servis dışı bırakılabilir ya da hedef izleme sürecini sabote etmek için yeniden programlanarak çeşitli ataklar gerçekleştirilir. Güvenliğin beta itibar modeli ile sağlandığı hedef izleme yaklaşımlarında ele geçirilmiş algılayıcı düğümler birlikte hareket ederek güven değerlerinin hesaplanması sürecini olumsuz etkileyebilirler. Burada iki türlü atak karşımıza çıkmaktadır. İlk olarak algılayıcı düğümler sağlıklı düğümlerin güven değerlerinin olduğundan düşük hesaplayarak küme lideri olmalarını engellemeleridir. İkincisi ise ele geçirilmiş bir düğümün diğer ele geçirilmiş düğümler ile işbirliğine girerek kendi güven değerinin mümkün olduğunca üst seviyeye çıkarmaktır. Böylece bu düğüm küme lideri olma ihtimalini yükseltecek ve hedef izleme süreci sabote edilebilecektir.

### 5.2.6. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin geçmiş verileri değiştirmesi

Bu senaryoda ele geçirilmiş algılayıcı düğümler üzerinden sağlıklı bir algılayıcı düğümün itibar tablolarında duran geçmiş verilerinin değiştirme olasılığı ele alınmıştır. Bu atağın amacı kendisi hakkında güven değeri hesaplayacak algılayıcı düğümün itibar verileri değiştirilerek güven değerinin mümkün olduğunca yüksek çıkmasını sağlamaktır. Hedef izleme sürecinde küme elemanları tarafından küme liderine gönderilen veri paketlerine yönelik de aynı amaçlı ataklar gerçekleştirilebilir.

Yukarıda açıkladığımız olası atakları engellemek için güvenli hedef tespit ve takip algoritmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz sistem temel olarak, algılayıcı düğümlerin komşu düğümlerini gözlemlemesine dayanmaktadır. Birbirlerinin hedef tespit ve takip aktivitelerini gözlemleyen algılayıcı düğümler beta itibar modelini kullanarak komşularının güvenilirlik değerlerini hesaplamaktadırlar. İlerleyen bölümlerde geliştirdiğimiz bu sistem detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

## 5.3. Algılayıcı Ağlar için Beta İtibar Modeli

Algılayıcı düğümlerin beklenmeyen davranışlarını tespit etmek için Bayes formülü çeşitli çalışmalarda [61, 62] kullanılmış ve başarılı sonuçlar vermiştir. Tez kapsamında

önerdiğimiz BİGHİ protokolünde algılayıcı düğümlerin güven seviyelerini belirlemek için beta itibar olarak adlandırılan Bayes formülü kullanılmıştır. Bu bölümde BİGHİ protokolünü detaylı anlatmadan önce beta itibar modelini kısaca açıklayacağız.

### 5.3.1. Beta yoğunluk fonksiyonu

Beta yoğunluk fonksiyonu, ikili olayların olasılık dağılımlarını göstermek için kullanılmaktadır. İkili olayların sonsal olasılıkları  $\alpha$  ve  $\beta$  olarak adlandırılan iki parametre ile indekslenen beta dağılımları şeklinde gösterilebilir [63]. Beta dağılımı ise gama fonksiyonu  $\Gamma$  kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f(p|\alpha + \beta) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha) * \Gamma(\beta)} p^{\alpha-1} (1 - p)^{\beta-1} \quad (5.3)$$

$$0 \leq p \leq 1, \alpha > 0, \beta > 0. \quad (5.4)$$

Beta dağılımının hedef tespit ve takip sisteminde nasıl uygulanacağını göstermek için hedef tespit işleminin “doğru” ve “yanlış” hedef tespiti olmak üzere iki olasılıkla sonuçlandığını ele alalım. Bir algılayıcı düğümün doğru hedef tespit sayısını  $r$  olarak ve yanlış hedef tespit sayısını da  $s$  olarak varsayalım. Beta fonksiyonu geçmişe dair bu doğru ve yanlış gözlemleri kullanarak algılayıcı düğümün gelecekte doğru hedef tespit etme olasılığını hesaplamaya çalışmaktadır [63].

$$\alpha = r+1 \quad \beta = s+1 \quad r, s \geq 0 \quad (5.5)$$

$p$  değişkeni doğru hedef tespit olasılığını göstermektedir ve  $f(p|\alpha, \beta)$   $p$  değişkeninin alacağı belirli bir değer olasılığını ifade etmektedir ve olasılık yoğunluğu olarak adlandırılır. Doğru hedef tespit olasılığının  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri kullanılarak beta dağılımları gerçekleştirilmekte ve bu dağılım şu şekilde yorumlanmaktadır [63];

- Doğru hedef tespit olasılığı gelecekte belirsiz olmakla birlikte, geçmişteki verilerin beta dağılımı incelendiğinde gelecekteki doğru hedef tespit olasılığı değeri, en yüksek ihtimalle beta dağılımında en yoğun değere sahip  $E(p)$  değerine eşit olacaktır.

- $E(p)$  değeri kısaca beta dağılımının olasılıklı beklenen değeri olarak ifade edilir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$E(p) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (5.6)$$

Algılayıcı düğümlerin güvenilirliği geçmiş davranışlarının beta dağılımı ile tahmin edilebilir. Burada önemli olan nokta ise geçmiş aktivitelerin ikili formatta sunulabilen veriler olması gerekliliğidir [63].

### 5.3.2. İtibar ve güven değerinin hesaplanması

İtibar değerleri, her bir algılayıcı düğümün geçmiş hedef tespit aktivitelerinin beta yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır. Güven değeri ise itibar değerlerinin oluşturduğu beta dağılımının olasılıklı beklenen değeri olan  $E(p)$ 'ye eşittir.

Bir algılayıcı düğümün komşu düğümlerinin geçmiş aktivitelerini gözlemleyerek oluşturduğu güven değerleri birinci elden bilgi olarak ifade edilmektedir. Sadece birinci elden bilgilere dayalı itibar modellerinde yakınsama süresi çok fazla olmaktadır. Bundan dolayı birinci elden bilgileri doğrulamak için ikinci elden bilgilere ihtiyaç vardır [63]. BİGHİ protokolünde algılayıcı düğümler ikinci elden bilgileri elde etmek için küme lideri seçme sürecinde itibar tablolarını karşılıklı değiştirmektedirler. Algılayıcı düğümler birinci elden bilgiler ile komşu düğümlerden gelen ikinci elden bilgileri bir araya getirerek itibar ve güven değerlerini hesaplamaktadırlar.

Hesaplamaların biraz daha ayrıntılarına girersek  $D_i$  algılayıcı düğümünün  $D_j$  komşu düğümü hakkındaki birinci elden bilgilerini topladıktan sonra  $N$  sayıda komşu düğümden  $D_j$  algılayıcı düğümü hakkında ikinci elden bilgileri aldığını varsayalım. Bu bilgilerin birleştirilmesi şu şekilde olmaktadır;

$$r_{ij}^{yeni} = w_{yaş} * \alpha_{ij} + r_{ij} + \sum_{k \in N} S_{bilgi}(r_{kj}) \quad , \quad w_{yaş} < 1 \quad (5.7)$$

$$s_{ij}^{yeni} = w_{yaş} * \beta_{ij} + s_{ij} + \sum_{k \in N} S_{bilgi}(s_{kj}) \quad , \quad w_{yaş} < 1 \quad (5.8)$$

$$\alpha = r_{ij}^{yeni} + 1 \quad \beta = s_{ij}^{yeni} + 1 \quad (5.9)$$

$$T_{ij}^{yeni} = E(Beta(\alpha, \beta)) \quad (5.10)$$

$D_i$  algılayıcı düğümünde ilk olarak  $D_j$  komşu düğümü hakkında geçmişte toplanan hedef tespit ve takip aktiviteleri  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ , belirli bir zaman ağırlıklandırma katsayısı ( $w_{yaş}$ ) ile çarpılmaktadır. Zaman ağırlıklandırma katsayısı birden küçük bir değer olmakta ve en güncel verilere daha çok ağırlık vermek amacıyla kullanılmaktadır. Daha sonra belirli bir zaman diliminde  $D_j$  komşu düğümü hakkında toplanan veri  $(r_{ij}, s_{ij})$  ile komşu düğümlerden gelen ikinci elden bilgiler ( $S_{bilgi}$ ) birleştirilerek yeni veri elde edilmektedir. Doğru ve yanlış hedef tespit değerleri hesaplanan  $D_j$  komşu düğümü için beta yoğunluk fonksiyonu kullanılarak beta dağılımı oluşturulmakta ve son aşamada güven değeri ( $T_{ij}^{yeni}$ ) değeri hesaplanmaktadır.

Birinci ve ikinci elden bilgilerin yukarıda gösterilen şekilde birleştirilmesi ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin itibar modelinin doğruluğunu etkilemesinin önünü açmaktadır. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin sayısı arttıkça bu algılayıcı düğümler güven değerlerini kendi lehlerine çevirebilirler. Özellikle kötölemek (Ing. bad mouthing) ve lehe çevirme (Ing. ballot stuffing) olarak adlandırılan ataklar en çok karşımıza çıkan ataklardır. Kötüleme atağında ele geçirilmiş bir algılayıcı düğüm diğer ele geçirilmiş algılayıcı düğümler ile bir araya gelerek sağlıklı algılayıcı düğümlerin güven değerlerini düşürmeye çalışmaktadırlar. Diğer taraftan lehe çevirme atağında ise ele geçirilmiş bir algılayıcı düğüm diğer ele geçirilmiş algılayıcı düğümler ile kendi güven değerini yükseltmek için işbirliğine girer. Bu tür atakları engellemek için birinci elden bilgiler ile ikinci elden bilgilerin birleştirildiği sırada birinci elden bilgilere daha fazla ağırlık vermek gerekmektedir. “Dempster–Shafer” teorisi kullanılarak bu problem giderilmeye çalışılmıştır. Bu teoriden yola çıkarak ikinci elden bilgilerin hesaplanmasında güven değerini hesaplayan algılayıcı düğümün ikinci elden bilgiyi gönderen algılayıcı düğüm hakkında topladığı birinci elden bilgilerin de hesaba katılması sağlanmış ve ikinci elden bilginin hesaplanması için yeni bir formül oluşturulmuştur [64];

$$S_{bilgi}(r_{kj}) = \frac{\{2 * r_{ik} * r_{kj}\}}{\{(s_{ik} + 2) * (r_{kj} + s_{kj} + 2)\} + \{2 * r_{ik}\}} \quad (5.11)$$

$$S_{bilgi}(s_{kj}) = \frac{\{2 * r_{ik} * s_{kj}\}}{\{(s_{ik} + 2) * (r_{kj} + s_{kj} + 2)\} + \{2 * r_{ik}\}} \quad (5.12)$$

Burada temel fikir yüksek güven değerine sahip algılayıcı düğümlere daha fazla ağırlık vermektir. Verilen ağırlık değerleri hiçbir zaman 1 değerinden büyük olmamalıdır. Böylece ikinci elden bilgilerin birinci elden bilgilerden daha ağır gelmesi engellenmiş olacaktır. Formüle ayrıntılı baktığımızda  $r_{ik}$  değeri 0 ya da  $s_{ik}$  değerinden çok çok küçük olduğu durumlarda sonuç 0 çıkmaktadır. Böylece doğru hedef tespit davranışı 0 ya da çok daha düşük olan ve muhtemelen ele geçirilmiş bir düğüm olan  $D_k$ , güven değeri hesaplamalarını olumsuz etkileyemeyecektir. Sonuç olarak ele geçirilmiş bir algılayıcı düğüm yukarıda bahsettiğimiz atakları gerçekleştiremeyecektir [63].

#### 5.4. Beta İtibar ile Güvenli Hedef İzleme (BİGHİ) Protokolü

İtibar bir varlığın güvenilirliği olarak tanımlanırken güven ise o varlığın olaylar hakkında kendisinden bekleneni yapması olarak ifade edilmiştir [61-63]. KAA'da kullanılan itibar tabanlı bir sistem de ise algılayıcı düğümün icra ettiği göreve ilişkin davranışlarının diğer düğümler tarafından gözlemlenmesi ve o algılayıcı düğümün ne kadar güvenilir olduğunun belirlenmesi prensibi vardır.

Tez kapsamında önerdiğimiz BİGHİ protokolünün temel prensibi de beta itibar modeli kullanılarak algılayıcı düğümlerin güvenilirliklerini değerlendirmektir. Bir algılayıcı düğüm aynı küme içerisinde bulunduğu komşu düğümlerini uyanık kaldıkları sürece izlemekte ve onların hedef tespit ve takip aktivitelerini kayıt altına almaktadır.

Algılayıcı düğümler komşularının hedef tespit ve takip davranışlarını gözlemleyerek ilk elden bilgiyi üretmektedirler. Hedefi tespit etme ve izleme görevlerini yerine getirmek için her bir algılayıcı düğüm komşularına ait ürettiği ilk elden bilgileri itibar tablolarında kayıt altına almaktadırlar. İtibar tabloları algılayıcı düğümler arasında değiştirilerek ikinci elden bilgi olarak kullanılmaktadır. Bir algılayıcı düğüm kendisinin ürettiği birinci elden bilgiler ile komşu düğümlerinden gelen ikinci elden bilgileri bir araya getirerek her bir komşu düğümü hakkında güven değeri hesaplamaktadır. İtibar tabloları daha sonra küme lideri seçme sürecinde kullanılmaktadır. Çizelge 5.1'de örnek bir itibar tablosu verilmiştir.

İtibar değerleri algılayıcı düğümlerin davranışlarının beta dağılımları kullanılarak hesaplanmaktadır [61].

Çizelge 5.1. Üç adet komşu düğümü olan düğüm A'nın itibar tablosu (RepTabA)

RepTabA	Hedef Tespit	Hedef Takip
Komşu <sub>A</sub> <sup>1</sup>	0,5	0,5
Komşu <sub>A</sub> <sup>2</sup>	0,2	0,3
Komşu <sub>A</sub> <sup>3</sup>	0,9	0,8

#### 5.4.1. BİGHİ protokolünün aşamaları

KAA kritik alanda oluşturulduktan sonra ilk olarak küme liderleri algılayıcı düğümler içerisinde rastgele seçilir [31, 64-66]. Rastgele seçilen küme liderleri kümeleri oluşturarak hedef tespit ve takip işlemine hazır hale gelirler.

KAA'da kullanılan itibar sisteminin performansı direk olarak algılayıcı düğümlerin beklenmeyen davranışlarını gözetleyen mekanizma ile alakalıdır. Bundan dolayı BİGHİ protokolünde o an uyanık olan bütün düğümler gözetleme mekanizmasına dâhil edilmiştir.

Küme tabanlı bir ağ yapısının beta itibar modeli ile desteklendiği BİGHİ protokolünde hedef tespit edildikten sonra küme içerisinde izlemeye alınmakta ve hedef kümeyi terk etmeden küme lideri tarafından bir sonraki pozisyonu tahmin edilerek hedefin olası pozisyonuna en yakın küme liderine uyarı mesajı gönderilmektedir.

BİGHİ protokolü güvenli hedef tespit ve takip görevini temel olarak 3 aşamada gerçekleştirmektedir;

- *Gözetleme*: Her bir düğüm sürekli olarak komşu düğümlerini izlemekte ve izleme sürecinde topladığı bilgileri kullanarak itibar tablolarını doldurmaktadır. Gözetleme mekanizmasında küme liderlerinin ele geçirilme ihtimali de düşünülmüştür. İtibar tabloları doldurulurken bekçi düğüm olarak adlandırılan düğümler de küme liderinin davranışlarını izlemektedir. Bekçi düğümlerin görevi, küme liderlerinin beklenmeyen bir davranışlarını tespit ettiklerinde baz istasyona bildirmektir.

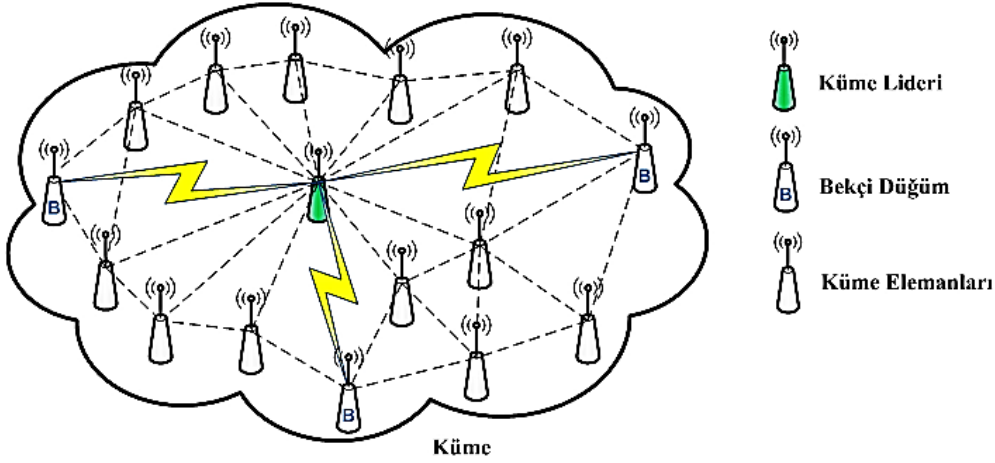


- *Küme Lideri Seçme*: Algılayıcı düğümler periyodik olarak itibar tablolarını birbirleri ile değiştirmekte ve sonrasında her bir algılayıcı düğüm, komşuları için güven değeri hesaplamaktadır. Algılayıcı düğümlerin güven değerleri ve kalan enerjileri kullanılarak adaylık dereceleri belirlenmektedir. En yüksek adaylık derecesine sahip algılayıcı düğüm bir sonraki periyoda kadar küme lideri olarak seçilir.
- *Hedef İzleme*: Küme lideri seçildikten sonra sadece küme liderleri ve bekçi düğümler uyanık durumda tutulmaktadır. Bundan dolayı her bir küme lideri ilk aşamada algılama alanına giren hedefi tespit etmek ile sorumludur. Hedefi tespit eden küme lideri daha sonra hedefe en yakın algılayıcı düğümleri uyandırarak takip işlemini başlatır. Burada küme liderinin hedefi tespit edememe olasılığı dikkate alınarak bekçi düğümlerde uyanık durumda tutulmuş ve küme liderinin hedefi tespit edemediği durumlarda bekçi düğümlerin hedefi tespit etme durumlarında küme lideri uyarılarak hedefin kaçırılması engellenmeye çalışılmıştır. Hedefin bir kere tespit edilmesinden sonra uyandırılan algılayıcı düğümler hedefin hareketlerini gözlemlemekte ve küme liderine hedefin hareket bilgilerini iletmektedirler. Küme lideri de bu bilgileri kullanarak hedefin konumunu hesaplamakta ve hesaplanan yeni pozisyona göre farklı algılayıcı düğüm gruplarını uyandırabilmektedir. Her bir küme için hedef izleme aşaması hedef kümeden ayrılana kadar devam etmektedir.

BİGHİ protokolünün beta itibar modeli kullanması ile ele geçirilen algılayıcı düğümlerin küme lideri olmalarının engellenmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte ilk aşamadan itibaren küme liderlerinden bir tanesinin ele geçirilmesi durumunda ise bu düğümlerin tespit edilmesi daha zorlaşacağı için küme liderlerini de gözetleyen bir mekanizma düşünülmüştür. Şekil 5.6'da gösterildiği gibi küme lideri seçme sürecinde küme liderinin davranışlarını gözlemleyecek bekçi düğümler de seçilmektedir. Ek olarak küme içerisindeki her bir algılayıcı düğüm komşu düğümlerinin sadece uyanık durumda kaldıkları sürece gözlemlemektedirler. Böylece enerji kaynağının daha etkin tüketilmesi hedeflenmektedir.

Gözlemlenen alanda hedef tespit edilmediği sürece küme elemanları uyku durumunda bekletilmektedirler. Bununla birlikte belirli periyodlarla algılayıcı düğümlerin uyandırılması ve ortamdaki bilgi toplamaları planlanmıştır. Hedefin bir küme lideri tarafından tespit edilmesi durumunda ise hedefe en yakın algılayıcı düğümler uyandırılarak

hedefe dair bilgi toplamaları sağlanmaktadır. Yukarıda da bahsettiğimiz gibi küme liderinin de ele geçirilebileceği olasılığı düşünüldüğünde, bu kötücül düğümlerin küme lideri seçme ve hedef takip süreçlerini sabote etmelerini engellemek adına her bir küme liderinin T sayıda komşusu bekçi düğüm olarak belirlenmiştir. BİGHİ protokolünün gözetleme ve küme lideri seçme aşamasında kullanılan algoritmaların temel adımlarına Çizelge 5.2’de yer verilmiştir.



Şekil 5.6. BİGHİ protokolünde küme lideri ve bekçi düğümler

Küme lideri ve bekçi düğümler seçilirken temel fikir her bir algılayıcı düğüm için adaylık derecesinin hesaplanmasıdır. Adaylık derecesi her bir algılayıcı düğümün sahip olduğu güven değeri ve kalan enerji seviyesi bilgileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Gözetleme aşamasında algılayıcı düğümler tarafından toplanan bilgiler ile oluşturulan itibar tabloları her bir küme periyodu sonunda algılayıcı düğümler tarafından değiştirilmektedir [67, 68]. Bir algılayıcı düğüm için kendisinin oluşturduğu itibar tablosu birinci elden bilgi, komşularından gelen itibar tabloları ise ikinci elden bilgi olmaktadır. Algılayıcı düğümler birinci ve ikinci elden gelen bilgileri kullanarak her bir komşusu için güven değeri oluşturmakta ve itibar tablosunu güncellemektedir. Son aşamada algılayıcı düğümler itibar tablolarını ve kalan enerji miktarlarını küme liderine bildirmektedir.

Küme lideri elindeki itibar tablolarını bir araya getirerek her bir algılayıcı düğüm için güven değeri oluşturur. Elinde güven değerleri ve kalan enerji seviyeleri olan küme lideri her bir algılayıcı düğüm için adaylık derecesini şu şekilde hesaplamaktadır;

$$\text{Adaylık Derecesi} = \frac{(\tau + \varepsilon)}{2} \quad (5.13)$$

$\tau$  ve  $\varepsilon$  değerleri sırasıyla bir algılayıcı düğümün güven değerini ve kalan enerji seviyesini belirtmektedir. Hesaplanan adaylık derecelerine göre yeni küme lideri ve bekçi düğümler seçilmektedir. Ele geçirilen düğümlerin gözetleme ve küme lideri seçme aşamalarını olumsuz etkilemelerinin engellenmesi için küme içerisindeki bütün algılayıcı düğümlerin sürece katılımı sağlanmıştır.

Çizelge 5.2. Gözetleme ve küme lideri seçme algoritması

Girdi	Bir grup algılayıcı düğüm
Çıktı	En yüksek adaylık derecelerine sahip küme lideri ve bekçi düğümler
Adım 1	İlk aşamada küme lideri rastgele seçilir.
Adım 2	Seçilen küme lideri [68]'de açıklandığı gibi kendisini diğer algılayıcı düğümlere tanıtarak kümesini oluşturur.
Adım 3	Uyanık durumdaki algılayıcı düğümler komşularını gözetler ve onların hedef tespit davranışlarına göre itibar tablolarını doldururlar.
Adım 4	Küme periyodu dolduğu anda küme lideri küme elemanlarına yeni küme lideri seçme işleminin başladığını haber verir.
Adım 5	Küme içerisindeki algılayıcı düğümler itibar tablolarını birbirleri ile paylaşırlar ve sonrasında her bir algılayıcı düğüm her bir komşusu için güven değeri hesaplar.
Adım 6	Her bir küme elemanı kalan enerji miktarını ve komşularının güven değerlerini küme liderine iletir.
Adım 7	Küme lideri küme elemanlarından gelen güven ve kalan enerji seviyesi bilgilerini bir araya getirerek her bir algılayıcı düğüm için adaylık derecesi hesaplar.
Adım 8	En yüksek adaylık derecesine sahip algılayıcı düğüm yeni küme lideri olarak seçilir. Daha sonra en yüksek adaylık derecesine sahip T sayıda algılayıcı düğüm de bekçi düğüm olarak belirlenir.

BİGHİ protokolünün 3. adımı olan hedef izleme aşamasında her bir küme lideri hedefin tespit edilmesinden sorumludur. İzlenen alana giren hedefi algılayan küme liderlerinden hedefe en yakın olanı aktif küme lideri olarak belirlenir. Hedef izleme görevini üstlenen küme lideri küme elemanlarından hedefe en yakın olan T sayıda küme elemanını hedefin hareketlerini gözlemlemeleri için uyandırır. Hedef izleme aşamasında uygulanan algoritmanın temel adımları Çizelge 5.3'de açıklanmıştır.

Çizelge 5.3. Hedef izleme algoritması

Girdi	Algılama alanına giren hedef
Çıktı	Hedef izleme görevi için uyandırılan bir grup algılayıcı düğüm
Adım 1	Küme lideri algılama alanını izler. Bekçi düğümleri ise küme lideri ile birlikte algılama alanını izlerken aynı zamanda küme liderinin davranışlarını kontrol ederler.
Adım 2	Küme lideri ya da bekçi düğümler hedefi tespit eder.
Adım 3	Küme lideri hedefe en yakın $T$ sayıda algılayıcı düğümü uyandırır.
Adım 4	Algılayıcı düğümler hedefin hareketini gözlemler ve küme liderine hedefe hakkında topladıkları bilgileri gönderirler.
Adım 5	Küme lideri üçkenarlama yöntemini kullanarak hedefin pozisyonunu hesaplar [69].
Adım 6	Hedefin küme içerisindeki hareket örüntüsüne göre küme lideri farklı algılayıcı gruplarını hedefi izleme sürecine dâhil edebilir.
Adım 7	Hedef kümeyi terk etmeye başladığında, küme lideri hedefin olası bir sonraki pozisyonunu tahmin eder ve tahmin edilen koordinatlara en yakın küme liderine hedefin kendisine doğru yaklaştığını haber verir.

Hedef algılama alanına girdiği andan itibaren algılayıcı düğümler tarafından takibe alınır. Küme lideri algılayıcı düğümlerden topladığı hedef bilgilerini kullanarak hedefin pozisyon, hız ve hareket doğrultusunu hesaplar. Hedefi takip eden algılayıcı grubu hedefin küme içerisindeki hareketlerine göre değişiklik gösterebilir. O an hedeften aldığı sinyal şiddeti önceden belirlenen eşik değerinin üstünde olan  $T$  sayıda algılayıcı düğüm hedefi izlemesi için uyandırılır. Küme lideri algılayıcı düğümlerden gelen bilgileri kullanarak hedefin bir sonraki olası pozisyonunu tahmin eder. Hedef kümeden ayrılacağı zaman da hedefin hareketi doğrultusunda hedefe en yakın küme liderine uyarı mesajı gönderir. Böylece hedef o kümeye gitmeden önce algılayıcı düğümler hazır olarak beklemiş olacaktır.

Tez kapsamında yapılan çalışmada kullanılan yukarıdaki algoritmalar da, hedef hareketlerine dair belirli kısıtlamalar belirlenmiştir. Hedefin sabit hızda ve 1-3 m/sn hız aralığında hareket ettiği varsayılmıştır. Ayrıca algılayıcı düğümlerin 5 m/sn'den daha hızlı hareket eden hedefleri tespit edemeyecekleri düşünülmüştür.

## 5.5. Güvenlik Analizi

BİGHİ protokolünün güvenlik analizi daha önce anlatılan hedef tespit ve takip sistemine yapılabilecek atak türleri yönünden analiz edilecektir. Her bir atak türü için BİGHİ protokolünde alınan önlemler kısaca açıklanacaktır.

### 5.5.1. Küme liderinin seçimi

Belirli bir bölgeye yapılan saldırılar sonucunda o bölgedeki algılayıcı düğümler ele geçirildiğinde bu düğümler küme lideri seçme sürecini etkileyebilirler. BİGHİ protokolünde küme lideri seçme işlemi bütün algılayıcı düğümler tarafından hesaplanan itibar değerlerine göre belirlenmektedir. Ayrıca itibar modeli oluşturulurken kötücül düğümlerin ikinci el bilgiler üzerinden güven değerlerini manipüle etmeleri engellenmiştir. Dolayısıyla küme lideri seçme sürecinin güvenli bir şekilde yapılması garanti edilmiş olmaktadır. Diğer taraftan eğer küme içerisinde ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısı güvenilir algılayıcı düğüm sayısından daha fazla ise bu durumda önlem almak çok zordur ve küme lideri seçme işlemi sabote edilebilir.

### 5.5.2. Küme lideri tarafından algılayıcı düğümleri uyandırma işlemi

Kötücül saldırılar sonucu bir küme lideri ele geçirilmiş ise hedefin küme alanına girmesiyle birlikte küme lideri hedefe en yakın algılayıcı düğümleri ya geç uyandırır ya da hiç uyandırmaz. Bu tür atakları engellemek için BİGHİ protokolünde bekçi düğüm mekanizması geliştirilmiştir. Her bir küme lideri belirli sayıda bekçi düğüm tarafından izlenmektedir. Eğer bir küme lideri hedefin algılanmasına rağmen en yakın algılayıcı düğümleri uyandırmaz ise bekçi düğümler devreye girmekte ve küme lideri gibi hareket edip algılayıcı düğümleri uyandırmaktadır. Ayrıca baz istasyona küme liderinin bu davranışı raporlanarak önlemler alınmasına olanak sağlanır.

### 5.5.3. Küme lideri tarafından hedef bilgisinin baz istasyona iletilmesi

Bu atakta ele geçirilmiş küme lideri hedef algılandıktan sonra algılayıcı düğümleri uyandırabilir fakat baz istasyona hedef ile alakalı bilgi gönderiminde bulunmaz. Bu tür ataklar da yine bekçi düğüm mekanizması ile engellenmiştir. Bekçi düğümler izledikleri

küme liderinin baz istasyona bildirimde bulunmadıklarını tespit ettikleri anda devreye girmekte ve durumu baz istasyonuna raporlamaktadırlar.

#### **5.5.4. Küme lideri tarafından yanlış algılayıcı düğümlerin uyandırılması**

Hedefin tespit edilmesi ile birlikte ele geçirilmiş küme lideri bu sefer yanlış algılayıcı düğüm grubunu uyandırarak hedef takip sürecini sabote etmeye çalışırlar. Bekçi düğümler, uyandırılan algılayıcı düğüm gruplarının kontrolünü yaparak olası yanlış grubun uyandırılması işlemini tespit edebilmektedirler. Yine bu tür ihlallerde baz istasyonu bilgilendirir ve gerektiği durumlarda küme lideri seçme işlemi tekrar başlatılarak güvenli algılayıcı düğümlerin tekrardan küme lideri olması sağlanmış olur.

#### **5.5.5. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin işbirliğine girmeleri**

Ele geçirilmiş algılayıcı düğümler işbirliğine girerek güven değeri hesaplama sürecini kendi lehlerine çevirebilirler. BİGHİ protokolünde kullanılan beta itibar modelinde bu tür atakları engellemek için “Eş. 5.11 ve 5.12” gösterdiği gibi ikinci elden bilgilerin hesaplanmasında, bir komşu düğümünün güven değerini hesaplayan algılayıcı düğümün, ikinci elden bilgiyi gönderen diğer bir komşu düğümü hakkında topladığı birinci elden bilgilerin de hesaba katılması sağlanmıştır. Burada temel fikir yüksek güven değerine sahip algılayıcı düğümlere daha fazla ağırlık vermektir. Böylece ele geçirilmiş düğümlerin güven değeri hesaplama sürecini olumsuz etkilemesi engellenmiş olacaktır.

#### **5.5.6. Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin geçmiş verileri değiştirmesi**

Ele geçirilmiş algılayıcı düğümlerin sağlıklı düğümlerin topladığı geçmiş verileri değiştirme olasılığına karşın BİGHİ protokolünde iki önlem alınmıştır. İlk olarak güven değeri hesaplama sürecinde küme içerisindeki algılayıcı düğümlerin itibar tablolarını karşılıklı değiştirmeleri ile birinci elden bilgiler değiştirilmesi durumunda bile komşu düğümlerden gelen ikinci elden bilgilerin de değiştirilmesi gerekliliğidir. Bu durum söz konusu atağın gerçekleşmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Ayrıca beta itibar modelinde itibar tabloları güncellenirken tablolarda var olan geçmiş verilere zaman ağırlıklandırma katsayısı uygulanmıştır. Böylece her zaman güncel verilerine daha fazla ağırlık verilmesi

amaçlanmıştır. Zaman ağırlıklandırma katsayısına verilecek çok küçük bir değer ile geçmiş verilere yönelik gerçekleştirilen atağın etkisi ciddi oranda azaltılmış olacaktır.

## 5.6. BİGHİ Protokolünün Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde BİGHİ protokolünün hedef tespit, hedef takip ve güvenlik parametreleri yönünden performans değerlendirilmesi için geliştirilen Java tabanlı benzetim ortamında yapılan analizlere yer verilmiştir. Benzetim ortamında sonuçların daha sağlıklı alınabilmesi için oluşturulan senaryolar birden fazla oynatılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

### 5.6.1. Benzetim ortamı

Benzetimler için 180 algılayıcı düğüm 60m x 60m boyutlarındaki bir alana homojen olacak şekilde rastgele yerleştirilmiştir. Algılayıcı düğüm yoğunluğu 0,05 algılayıcı düğüm/m<sup>2</sup> ve her bir algılayıcı düğümün algılama yarıçapı 10 m olarak belirlenmiştir.

Benzetim ortamında koşulan senaryoda ilk olarak olası hedefler izlenen alanın çeşitli bölgelerine üniform dağılım ile yerleştirilmiştir. Başlangıç zamanında küme liderleri ve bekçi düğümler rastgele seçilmiştir. Daha sonra küme yapıları oluşturulmuş ve benzetim başladıktan her  $t$  saniye sonra küme lideri seçme süreci başlatılmıştır. Bir küme liderinin algılama alanı içerisinde yer alan algılayıcı düğümlere kümeye katılmaları için mesajlar gönderilmiştir. Daha önce bir kümeye katılmamış algılayıcı düğümler kümeye dahil edilmiştir. Küme liderlerinin algılama alanları hedef tespit oranını arttırmak için mümkün olduğunca çakıştırılmamaya çalışılmıştır. Küme liderleri ve bekçi düğümler dışında bütün algılayıcı düğümler uyku durumu ile başlatılmış ve küme liderleri tarafından uyandırma mesajı gönderilmediği sürece durumları değiştirilmemiştir.

İtibar hesaplamalarında kullanılacak olan doğru hedef tespit sayısı  $r$  ve yanlış hedef tespit sayısı  $s$  parametrelerine başlangıçta 0 değeri atanmıştır. Dolayısıyla her bir algılayıcı düğümün başlangıç güven değeri  $E(p) = 0,5$  olarak belirlenmiştir.

Benzetim ortamı için seçilen alanın boyutları ile orantılı olacak şekilde her bir küme lideri için sadece iki küme elemanı bekçi düğüm olarak seçilmiştir. Bekçi düğümler seçilirken

küme liderinin algılama alanının sınırına en yakın olan algılayıcı düğümlere öncelik tanınmıştır. Oluşturulan senaryo farklı yüzdelerdeki ele geçirilen algılayıcı düğüm parametresi ile tekrardan oynatılmıştır. Ele geçirilen küme liderleri ile küme elemanlarının oranı gözetleme ve küme lideri seçme aşamalarında kullanılan algoritma tarafından belirlenmiştir. Hesaplanan oranlara göre bütün KAA üzerindeki küme liderleri ve küme elemanları içerisinde rastgele algılayıcı düğümler ele geçirilmiş düğüm olarak seçilmiştir. Ayrıca izlenen alan içerisine dağıtılmış hedefler, oluşturulan rastgele yürüme modeli kullanılarak alan içerisinde hareket ettirilmişlerdir. Hedefin izlenen alan içerisindeki her hareketinde hedef tespit ve takip süreçleri uygulanmıştır.

Hedef Algılama Alanı içerisinde (HAA) testi izlenen alan içerisinde bulunan hedeflerden hangilerinin tespit edildiği ve hangi küme liderleri ve bekçi düğümlerin onları tespit ettiklerinin bulunması için kullanılmıştır. Hedef bir kere tespit edildikten sonra hedefe en yakın küme yapısı aktif küme olarak seçilmiştir. Daha sonra aktif kümenin küme lideri hedefe en yakın  $T$  sayıda algılayıcı düğümü uyandırmaktadır. Uyandırılan algılayıcı düğüm sayısı üçkenarlama metodunun sağlıklı kullanılabilmesi için en az 3 olarak şekilde ayarlanmıştır.

Hedef izlenen alan içerisinde hareket ettikçe uyanık durumdaki algılayıcı düğümlerin her birisine HAA testi uygulanmaktadır. Böylece algılayıcı düğümlerin hedef tespit ve takip davranışları izlenebilmekte ve bu davranışlara göre itibar tabloları doldurulmaktadır. İtibar tablolarının en güncel verilerden en çok etkilenmesi için hedef tespit davranışlarına zamana göre ağırlıklandırma yapılmıştır. Zaman ağırlıklandırma katsayısı benzetim için 0,98 olarak seçilmiştir. Eğer bir küme lideri hedefi tespit edemez ise bu durumda bekçi düğümlere HAA testi uygulanmaktadır. Eğer bekçi düğümlerden bir tanesi hedefi algılasa küme liderine haber verilmekte ve hedefin pozisyonu gönderilmektedir. Eğer bir hedef ele geçirilmiş bir küme lideri, küme elemanı ya da hiçbir kümeye katılmamış algılayıcı düğüm tarafından tespit edilirse bu durumda HAA testinde hedefin tespit edilemediği varsayılmıştır.

Benzetim ortamında her bir algılayıcı düğüm için başlangıç enerji değeri 15 390 J olarak belirlenmiştir. Her bir HAA testi sonunda rastgele belirlenmiş enerji tüketim değerleri algılayıcı düğümlere dağıtılmıştır. Uyanık durumdaki algılayıcı düğümler için enerji tüketim değeri 4-8 mJ aralığında ve uyku durumundaki algılayıcı düğümler için enerji



tüketim değeri 0-1,5 mJ aralığında rastgele seçilmiştir. Her bir veri paketinin ağ içerisinde iletilmesi için gerekli enerji miktarı 0,02 mJ olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak oluşturulan senaryolar benzetim ortamında hedef tespit başarımını ölçmek için 100 hedef ile 100 kez, hedef takip başarımını ölçmek için ise 10 hedef ile 20 kez koşulmuştur. Hedef takip başarımının ölçülmesinde her bir senaryo için 10 farklı hedef izlenen alanın çeşitli bölgelerine yerleştirilmiş ve bu hedefler rastgele yürüme modeli tarafından oluşturulmuş olan 20 farklı yolda hareket ettirilmiştir. Ayrıca hedef tespit ve takip ölçümlerinde her bir senaryoda oluşturulan algılayıcı düğümler %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 olmak üzere 6 farklı ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesine göre kötücül düğüm ya da sağlıklı düğüm olarak seçilmiştir. Protokolün performans değerlendirme sürecinde benzetim ortamından elde edilen verilerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Performans değerlendirmesinde kullanılan KAA yaşam ömrü kıstası üç farklı şekilde tanımlanmıştır:

- *Tanım 1:* “Bir ağın yaşam ömrü, ağ içerisinde bulunan algılayıcı düğümlerden ilk kez birinin enerjisi bittiği zamana kadar işleme alınan sorgu sayısıdır”.
- *Tanım 2:* “Bir ağın yaşam ömrü, ağ içerisinde bulunan algılayıcı düğümlerden ilk kez %5’inin enerjisi bittiği zamana kadar işleme alınan sorgu sayısıdır”.
- *Tanım 3:* “Bir ağın yaşam ömrü, ağ içerisinde bulunan algılayıcı düğümlerden ilk kez %10’unun enerjisi bittiği zamana kadar işleme alınan sorgu sayısıdır”.

Senaryolar BİGHİ protokolünün uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda koşulmuş ve sonuçlar grafiklere dökülerek yorumlanmıştır.

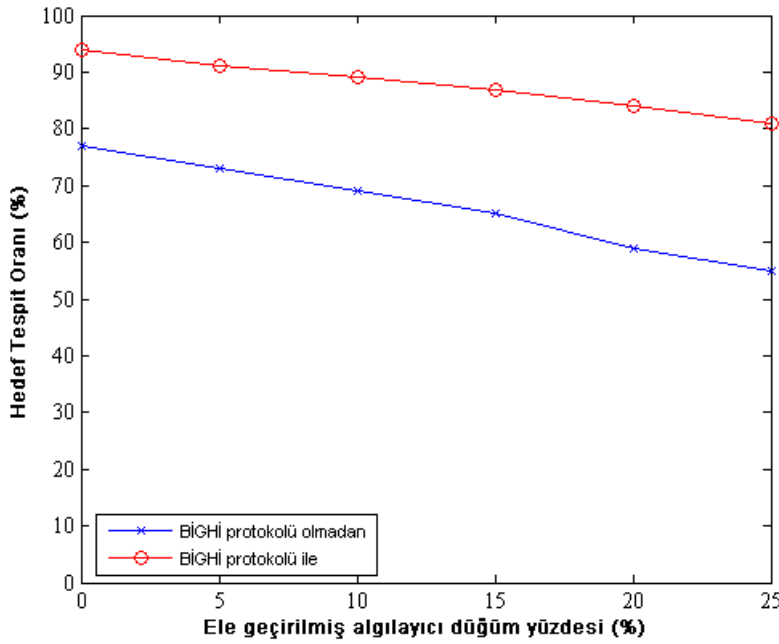
### 5.6.2. Benzetim sonuçları

Güvenilir bir ortamda hedef tespit ve takip başarımı doğal olarak ele geçirilmiş düğümlerin olduğu bir ortama göre daha yüksek gerçekleşmektedir. Peki, ele geçirilen düğümlerin oranı hedef tespit ve takip oranını nasıl etkilemektedir? Tez kapsamında önerdiğimiz BİGHİ protokolü ile hedef tespit ve takip oranları arasındaki ilişkiyi araştırmak için oluşturduğumuz benzetim senaryoları farklı yüzdelerde ele geçirilmiş algılayıcı düğüm oranları ile test edilmiş ve BİGHİ protokolünün performansı değerlendirilmiştir.

### Hedef tespit sonuçları

BİGHİ protokolünün hedef tespit başarımının analiz edilmesi için çeşitli senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar benzetim ortamında koşularak sonuçlar analiz edilmiştir.

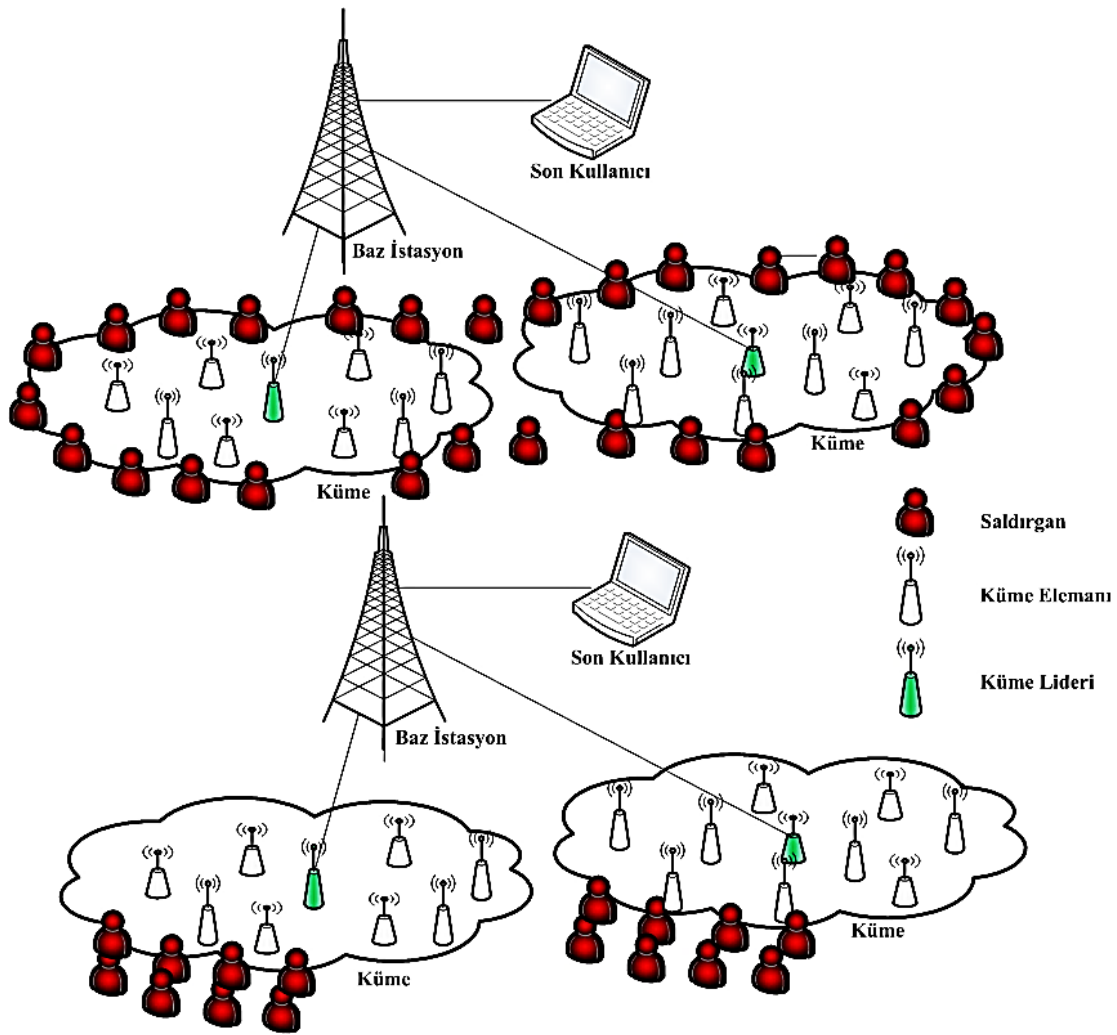
İlk senaryoda, izlenen alanın herhangi bir noktasına saldırı gerçekleşebileceği düşünülmüş ve ele geçirilen algılayıcı düğümler bütün alana homojen dağıtılmıştır. Senaryo benzetim ortamında koşulmuş ve BİGHİ protokolünün hedef tespit oranına etkisi grafiksel olarak Şekil 5.7’de gösterilmiştir. BİGHİ protokolü ele geçirilen algılayıcı düğümlerin küme lideri olmalarını engellediği için BİGHİ protokolünün gerçekleştirildiği durumda daha yüksek hedef tespit oranları elde edilmiştir. Ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısının yüzdesi kademeli olarak arttırıldığında BİGHİ protokolünün kullanılmadığı durumda hedef tespit performansı giderek düşüş sergilerken, BİGHİ protokolü ise belli bir yüzdeye kadar direnmekte daha sonra o da ufak performans kayıpları yaşamaktadır.



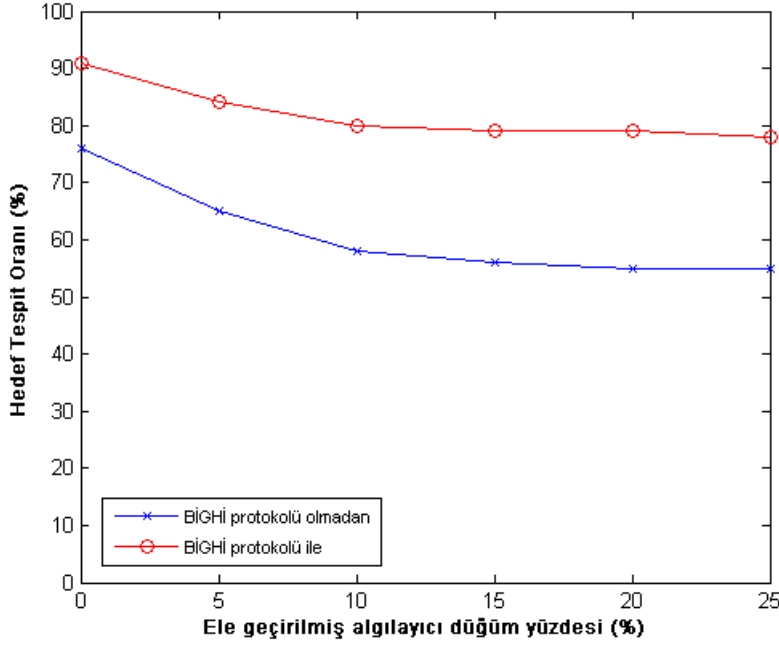
Şekil 5.7. Ele geçirilen düğümlerin bütün alana dağıtıldığı hedef tespit senaryosu

İkinci senaryoda hedeflerin izlenen alanın sınır bölgelerinden giriş yaptıkları varsayılmıştır. Dolayısıyla hedef tespit ve takip sistemine yapılan atakların da sınır bölgesinde yoğunlaştığı düşünülmüş ve ele geçirilen düğümler sınır bölgelerinden seçilmiştir. Şekil 5.8’de üst tarafta gösterildiği gibi saldırganlar, izlenen alanın sınır bölgelerine yoğunlaşmışlardır. Bu senaryoda da BİGHİ protokolü daha yüksek hedef tespit

oranına sahip olmuştur. Bununla birlikte Şekil 5.9’da da görüldüğü üzere ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesinin artırılmasıyla BİGHİ protokolünün direncinin daha erken kırıldığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, protokol saldırılara karşı hedef tespit oranını %80’lerde tutmayı başarmıştır. Diğer taraftan BİGHİ protokolünün uygulanmadığı durumda hem daha düşük hedef tespit oranları elde edilmiş hem de KAA saldırılar karşı daha zayıf kalmıştır. Sonuç olarak ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısı arttıkça hedef tespit oranı %50’lere kadar gerilemiştir.



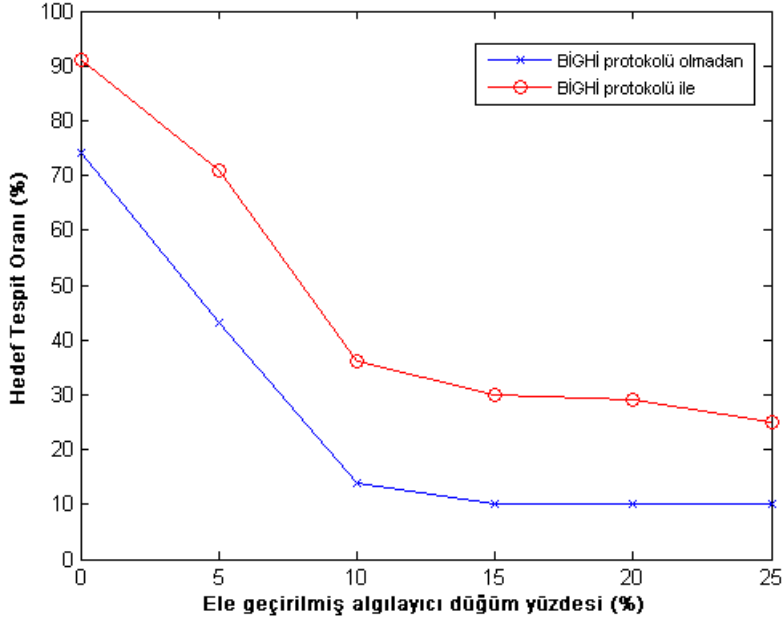
Şekil 5.8. Hedef tespit ve takip sistemine yapılan atak şeması (üst) sınır bölgesine gerçekleştirilen ataklar ve (alt) belirli bir bölgeye gerçekleştirilen ataklar



Şekil 5.9. Ele geçirilen düğümlerin sınır bölgesine dağıtıldığı hedef tespit senaryosu

Üçüncü senaryoda Şekil 5.8’de alt tarafta gösterildiği gibi saldırıların belirli bir bölgeye yoğunlaşacağı düşünülmüştür. Gerçek hayattaki koşullar düşünüldüğün de saldırganların KAA tamamına birden saldırı gerçekleştirmeleri zor bir ihtimal olarak gözükmemektedir. Bütün ağa yapılacak saldırılar yerine izlenen alana girişlerin yapıldığı bölge üzerine yoğunlaşmış saldırıların o bölgeye yapılması daha tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Tüm bu durumlar hesaba katılarak oluşturulan üçüncü senaryo benzetim ortamında koşulmuştur. Şekil 5.10’de de gösterildiği üzere bu tür ataklar KAA için en tehlikeli ataklardır. BİGHİ protokolünün uygulanmadığı durumda çok düşük hedef tespit oranları elde edilmiştir. Ele geçirilen algılayıcı düğüm oranının artırılması ile birlikte hedef tespit yüzdesi %10’lara kadar gerilemiştir. BİGHİ protokolünün uygulandığı durumda da benzer eğilimler karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte BİGHİ protokolü saldırılara daha fazla direnç göstermiş ve hedef tespit oranını BİGHİ protokolünün uygulanmadığı duruma göre daha yüksek seviyelerde tutmayı başarmıştır. Protokolümüzün güvenlik analizini yaptığımız bölümde belirli bir bölgede ele geçirilen algılayıcı düğüm sayısı sağlıklı düğüm sayısından daha fazla olması durumunda küme lideri seçme sürecinin manipüle edilebileceği ve hedef tespit görevinin sabote edilebileceği öngörüsünde bulunmuştuk. Benzetim ortamında koştığımız üçüncü senaryomuzda aldığımız sonuçlar ile bu öngörümüzü teyit etmiş olduk. Sonuç olarak BİGHİ protokolü, izlenen alan içerisine sızmaya çalışan hedeflerin yoğunlukta olduğu bölgede yer alan algılayıcı düğümlerin ele geçirildiği varsayılan senaryoda daha düşük başarı göstermiştir. Diğer taraftan protokol, hedef tespit oranını

%30'larda tutmayı başarmış ve BİGHİ protokolünün gerçekleştirilmediği duruma göre daha başarılı sonuçlar elde etmiştir.

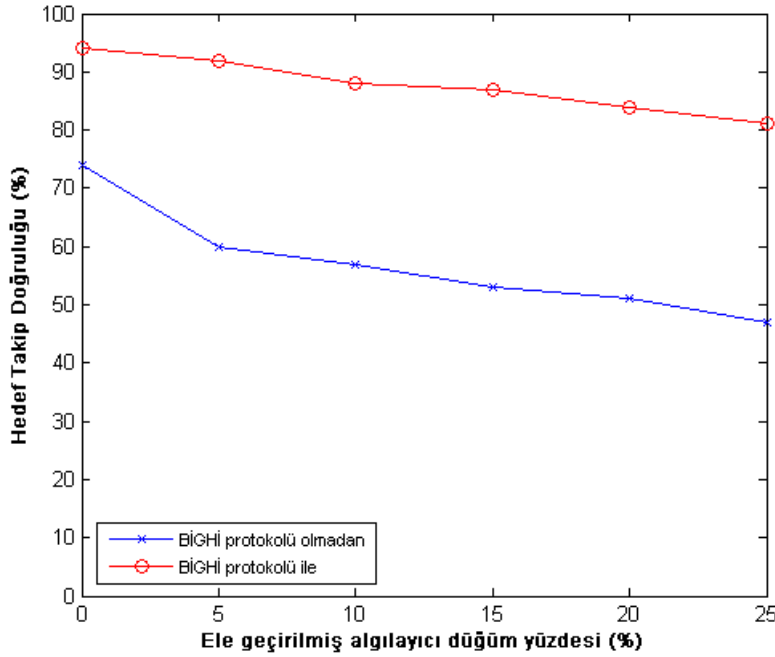


Şekil 5.10. Ele geçirilen düğümlerin bir bölgede toplandığı hedef tespit senaryosu

#### Hedef takip sonuçları

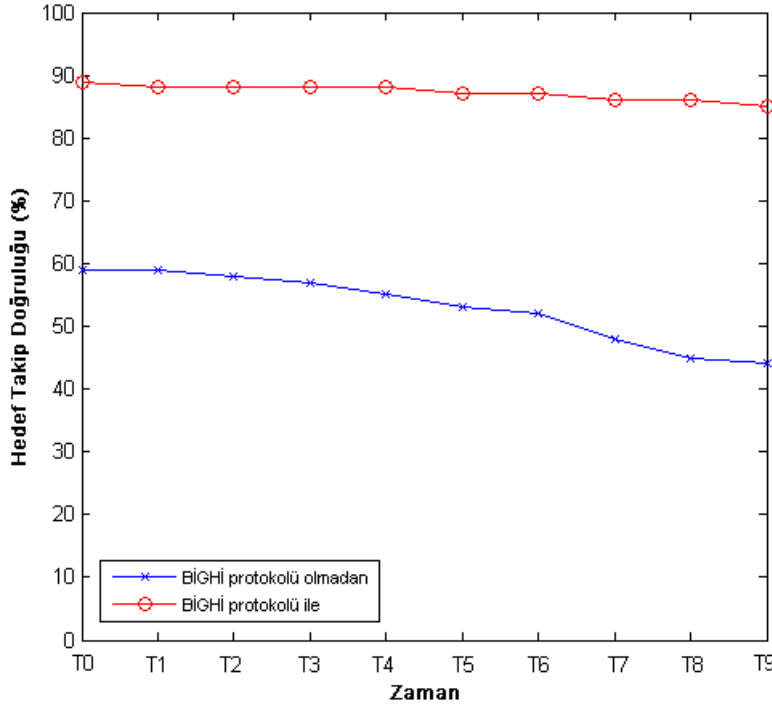
BİGHİ protokolünün hedef takip performansını değerlendirmek için ele geçirilen algılayıcı düğümlerin bütün KAA'ya homojen olarak dağıtıldığı senaryo kullanılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

İlk olarak hedef takip doğruluğunun ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesine bağlı değişimi ele alınmıştır. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi hedef takip doğruluğu ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesinin arttırılmasına rağmen ciddi düşüşler yaşamamış ve %25 ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesinde bile hedef takip başarımını %80'lerde tutmayı başarmıştır. Diğer taraftan BİGHİ protokolünün uygulanmadığı durumda ise ele geçirilen düğümlerin gerçekleştirdiği ataklar daha başarılı olmuş ve hedef takip doğruluğu %50 civarına kadar gerilemiştir.



Şekil 5.11. Ele geçirilen düğüm yüzdesinin hedef takip doğruluğuna etkisi

Şekil 5.12’de hedef takip doğruluğunun zamanla değişimine yer verilmiştir. Grafikte yatay eksen (x) gösterilen zaman dönemleri rastgele yürüme modeli tarafından oluşturulmuş hedef yolları üzerinden sırasıyla hareket ettirilen hedefleri temsil etmektedir. Burada aynı yol üzerinden geçen hedeflerin zamanla takip oranları ölçülmeye çalışılmıştır. Bu benzetim senaryosunda hedef tespit başarımının, sadece zamana göre değişimi analiz edileceği için ele geçirilen algılayıcı düğüm yüzdesi sabit tutulmuş ve %15 olarak belirlenmiştir. Benzetim sonuçları göstermiştir ki; BİGHİ protokolünün kullanılmadığı durumda hedef takip oranı çok hızlı bir düşüş göstermiştir. Bunun sebebi ele geçirilen algılayıcı düğümlerin hedef takip görevini engellemesidir. Ayrıca atıl olarak kullanılan algılayıcı düğümlerin enerjileri gereksiz yere tüketildiği için sistemin başarımı otomatik olarak düşmektedir. BİGHİ protokolünün gerçekleştirildiği durumda ise ele geçirilen algılayıcı düğümler zamanla tespit edildiği için onların küme lideri olmaları engellenmiş ve böylece hedef takip başarımını düşürmeleri engellenmiştir. Bununla birlikte algılayıcı düğümlerin enerji seviyeleri azaldığı için sistemin başarımı bir miktar düşmüştür. Bu durum BİGHİ protokolünün zamanla daha artan oranlarda hedef takip başarımı sergilemesi yerine daha durağan bir seyirde devam etmesine sebep olmuştur.

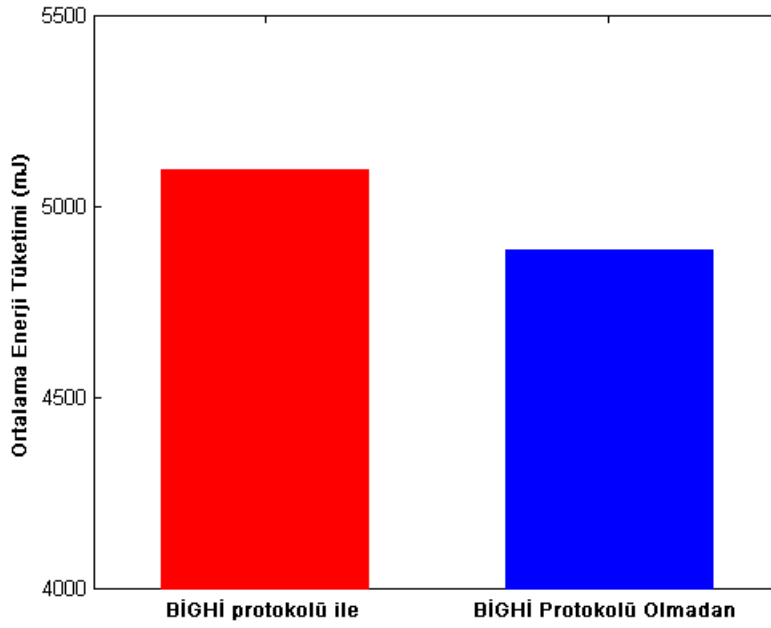


Şekil 5.12. Hedef takip doğruluğunun zamana göre değişimi

### BİGHİ protokolünün enerji etkinliğinin analizi

Algılayıcı düğümler kısıtlı enerji kaynaklarına sahiptirler ve çoğunlukla ulaşılması zor ortamlara kurulmalarından dolayı bataryalarının bir kere kurulduktan sonra tekrar değiştirmesi oldukça güçtür. Bu sebeplerden dolayı enerji etkinliği KAA için çok önemli bir performans ölçütüdür. Hedef tespit ve takip sistemlerinde de sürekli bir gözetleme ve izleme süreçleri olduğu için KAA'nın mümkün olduğunca uzun süre ayakta kalması gerekmektedir.

Geliştirilen benzetim ortamında BİGHİ protokolünün enerji etkinliği analiz edilmiştir. BİGHİ protokolünün gerçekleştirildiği ve gerçekleştirilmediği durumlarda her bir algılayıcı düğümün ortalama enerji tüketimine Şekil 5.13'de yer verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere BİGHİ protokolü sisteme çok fazla bir ek enerji tüketimi getirmemektedir. İtibar tablolarının hesaplanması ve tabloların algılayıcı düğümler arasındaki alışverişi gibi özelliklerinden dolayı BİGHİ protokolünün daha fazla enerji tüketmesi beklenen bir davranıştır. Bununla birlikte sisteme getirdiği enerji yükü ile hedef tespit ve takip başarımları ele alındığında BİGHİ protokolünün kritik alan gözetleme sistemleri için kullanışlı bir protokol olduğu söylenebilir.

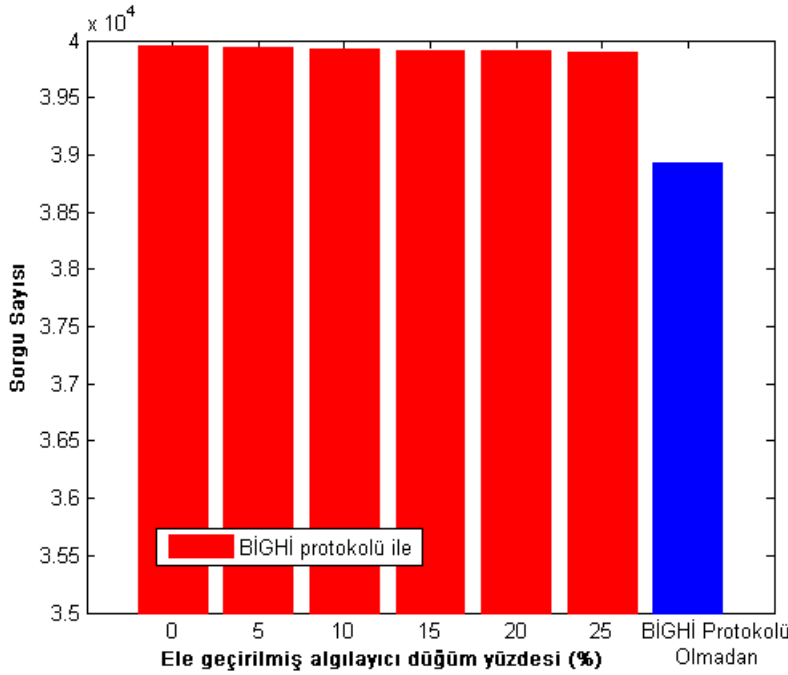


Şekil 5.13. Her bir algılayıcı düğümün ortalama enerji tüketimi

Enerji tüketiminin yanı sıra KAA'nın ne kadar süre ayakta kaldığı da oldukça önemlidir. Ağ yaşam süresinin ilk algılayıcı düğümün servis dışı kaldığı ana kadar ki yapılan işlem sayısı olarak tanımladığımız benzetim senaryomuz da BİGHİ protokolünün gerçekleştirildiği ve gerçekleştirilmediği durumlar için KAA'nın yaşam ömrü ölçülmeye çalışılmıştır. Benzetim sonuçlarını analiz etmeden önce ağ yaşam ömrünü ele aldığımız yukarıdaki tanımlamamıza göre ilk algılayıcı düğüm, enerjisinin tamamını harcadığı zaman KAA'nın servis dışı kaldığı varsayılmıştır. Bu sebepten dolayı enerji tüketiminin fazla harcandığı durumlarda KAA yaşam ömrünün daha kısa olması beklenmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.14'de bunun tam tersi bir durum karşımıza çıkmıştır. Enerji tüketimi daha fazla olan BİGHİ protokolünün gerçekleştirildiği durumda KAA'nın yaşam ömrü daha uzun ölçülmüştür. Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz; BİGHİ protokolü yüksek miktarda hesaplama ve iletişim yükü getirmektedir. Diğer taraftan protokol, ele geçirilen algılayıcı düğümlerin küme lideri ya da bekçi düğüm olmalarını engellediği için ağın atıl kullanılması engellenmiş ve protokolün getirdiği ek yükler bu iyileştirme ile telafi edilmiştir. BİGHİ protokolünün gerçekleştirilmediği durumda ele geçirilen bir algılayıcı düğüm küme lideri olabilmekte ve küme elemanlarını sürekli uyanık tutarak kısa sürede enerjilerinin tüketmelerine sebep olmaktadır. BİGHİ protokolünde enerji tüketimi algılayıcı düğümlere eşit olarak dağıtılırken, BİGHİ protokolünün uygulanmadığı durumda ele geçirilen algılayıcı düğümlerin küme lideri olmalarından sonra önceki bölümlerde anlatılan küme lideri saldırıları ile küme elemanları servis dışı kalmaktadır. Ek olarak,



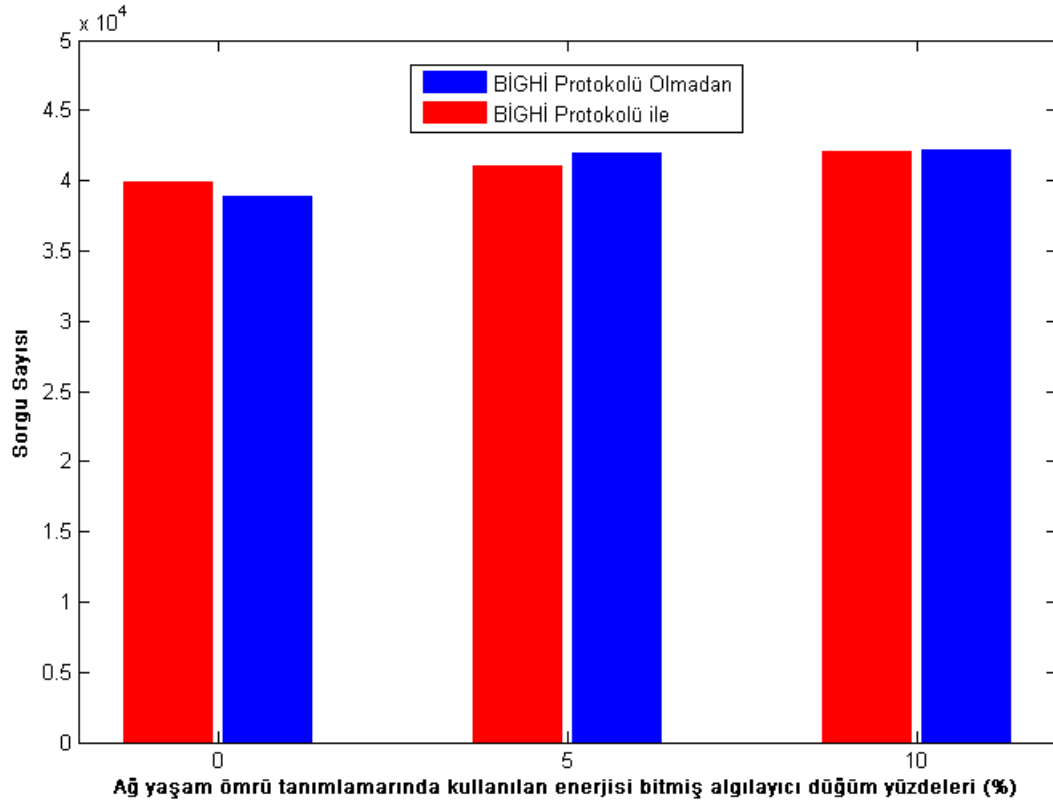
KAA'nın servis dışı kalma ölçütünün, daha yüksek oranlarda algılayıcı düğümün kullanılamaz hale gelmesi gerektiği senaryolarda BİGHİ protokolünün performansının biraz daha düşeceği öngörülmektedir.



Şekil 5.14. KAA ortalama yaşam ömrü

Daha yüksek oranlarda algılayıcı düğümün kullanılamaz hale gelmesi gerektiği ağ yaşam ömrü tanımlarımız için BİGHİ protokolünün nasıl bir davranış sergileyeceğini analiz etmek amacıyla performans değerlendirmemizi biraz daha genişlettik. Ağ yaşam ömrü için %5 ve %10 oranlarında algılayıcı düğümün servis dışı kalması senaryolarını da gerçekleştirerek yukarıdaki sorumuza cevap aradık. Benzetim sonuçlarının gösterildiği Şekil 5.15'de, üç farklı ağ yaşam ömrü tanımı için BİGHİ protokolünün uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda ortalama ağ yaşam ömrü gösterilmiştir. Buna göre, ağ yaşam ömrü için enerjisi tükenmiş algılayıcı düğüm yüzdesini %5 ve %10 olarak aldığımız durumlarda BİGHİ protokolünün uygulanmadığı durum için ölçülen ağ yaşam ömrü daha uzun çıkmıştır. Bunun sebebi benzetim ortamında modellenen küme lideri saldırılarının toplam algılayıcı düğümlerin %5'ine kadarını servis dışı bırakmayı başarmasıdır. BİGHİ protokolünün enerji tüketiminin daha fazla olması sebebiyle bir önceki analizimizde de öngördüğümüz gibi KAA'nın servis dışı kalma ölçütünün daha yüksek oranlarda algılayıcı düğümün kullanılamaz hale gelmesi gerektiği senaryolarda, BİGHİ protokolünün etkinliği biraz daha düşmüştür. Bununla birlikte, BİGHİ protokolünün kullanılmasını önerdiğimiz

kritik alan izleme uygulamalarında %5 ve %10 gibi yüzdelerde algılayıcı düğümlerin servis dışı kalmaları çok ciddi problemlere sebep olabilmektedir.



Şekil 5.15. Üç farklı ağ yaşam ömrü tanımı için KAA ortalama yaşam ömrü

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında KAA tabanlı kritik alan gözetleme sistemleri için algılayıcı yerleştirme ve güvenli hedef izleme problemleri ele alınmıştır. Kritik alan gözetleme gibi güvenliğinin çok önemli olduğu sistemlerde hedef tespit ve takip süreçlerinde algılayıcı düğümlerin ortamdaki topladıkları verilerin gizliliğinin ve bütünlüğünün sağlanması için BİGHİ protokolü önerilmiştir. Ayrıca güvenliğin sağlanması ile birlikte hedef tespit ve takip doğruluklarının yüksek tutulması ve enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için algılayıcı düğümlerde kullanılan yönlü algılayıcıların izlenen alana nasıl yerleştirilebileceği sorusuna cevap aranmış ve hesaplanabilir geometrik alan tabanlı algılayıcı düğüm yerleştirme şemaları geliştirilmiştir.

PKÖ algılayıcıları gibi hedef izleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan yönlü algılayıcılar için önerilen yerleştirme şemaları incelendiğinde çeşitli yöntemler karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemlerden hesaplanabilir geometrik tabanlı yöntemler kullanılarak PKÖ algılayıcıları için kare, üçgen ve altıgen yerleştirme şemaları önerilmiştir. Önerilen bu şemaların değerlendirilmesi ve kritik alan gözetleme sistemlerinde çoğunlukla tercih edilen rastgele yerleştirme yaklaşımı ile karşılaştırılması için Java tabanlı bir benzetim ortamı oluşturulmuştur. Her bir yerleştirme şeması benzetim ortamında analiz edilmiş ve sonuçlar maliyet, performans ve artıklık kıstasları yönünden değerlendirilmiştir. Benzetim ortamından aldığımız sonuçlar, yaptığımız teorik analizler ile benzerlik göstermiştir. Önerilen şemalardan kare yerleştirme şeması PKÖ algılayıcılarının yerleştirme problemi için en uygulanabilir şema olarak tespit edilmiştir. Literatürde yerleştirme problemleri çoğunlukla çok yönlü algılayıcılar için ele alınmaktadır. Yaptığımız çalışma göstermiştir ki  $110^\circ$  algılama alanına sahip PKÖ algılayıcıları için yerleştirme stratejisi yüksek hedef tespit oranlarını yakalayabilme açısından çok yönlü algılayıcılara göre oldukça önem arz etmektedir. Yönlü algılayıcılar, belirli bir zaman aralığında sadece belirli bir alanı gözlemleyebildikleri için yerleştirme pozisyonları ve görüş açıları hedef tespit oranlarını ciddi oranda etkilemektedir. Yönlü algılayıcıların yerleştirme problemi için ileri ki çalışmalarda algılayıcıların iletişim ve algılama mesafeleri birlikte ele alınıp algılayıcı ağın yaşam ömrü analiz edilebilir. Ayrıca gerçek ortam şartlarına daha dayanıklı yerleştirme yöntemleri oluşturmak için önerilen şemalar, gerçek algılayıcı düğümler ile kurulacak test ortamında analiz edilebilir.

Algılayıcı yerleştirme yaklaşımlarından sonra kritik alan gözetleme sistemlerinde hedef tespit ve takip süreçlerinin daha güvenli gerçekleştirilmesi için beta itibar modelini kullanarak algılayıcı düğümlerin güvenilirliklerinin ölçüldüğü BİGHİ protokolü önerilmiştir. Geliştirilen protokolde ilk olarak KAA içerisinde kötücül saldırılar sonucunda ele geçirilmiş algılayıcı düğümler üzerinden gerçekleştirilebilecek ataklar belirlenmiş daha sonra BİGHİ protokolünde bu ataklar için geliştirilen önlemler açıklanmıştır. Protokol temel olarak algılayıcı düğümlerin geçmiş hedef tespit ve takip aktivitelerinin beta yoğunluk fonksiyonu kullanılarak modellenmesi ve oluşturulan itibar modeli ile güven değerlerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Gözetleme, küme lideri seçme ve hedef izleme aşamalarından oluşan protokolün performans değerlendirilmesi için Java tabanlı bir benzetim ortamı oluşturulmuş ve farklı yüzdelerde ele geçirilmiş algılayıcı düğümler kullanılarak sistemin direnci test edilmiştir. Benzetim ortamı sonuçları göstermiştir ki BİGHİ protokolü hedef tespit, hedef takip ve ağ yaşam ömrü kıstaslarında protokolün gerçekleştirilmediği duruma göre daha iyi performans sergilemiştir. BİGHİ protokolünün gerçekleştirilmediği durumda %50'lere kadar gerileyen hedef izleme başarımının, BİGHİ protokolü ile %80'ler seviyesinde tutulması sağlanmıştır. Güvenliğin sağlanmasının her zaman bir maliyeti olmuştur. BİGHİ protokolünde de güvenli hedef izlemenin gerçekleşmesi için daha fazla enerji tüketimine ihtiyaç duyulmuştur. Protokolün enerji etkinliğinin artırılması için ileriki çalışmalarda KAA üzerine getirilen iletişim ve hesaplama maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. M.Nandhini, V.R.Sarma Dhulipala. (2012). Energy-Efficient Target tracking Algorithms in Wireless Sensor Networks: An Overview. *International Journal of Computer Science and Technology (IJCST)*, 3(1), 66-71.
2. K. Ramya, K. Praveen Kumar, V. Srinivas Rao. (2012). A Survey on Target Tracking Techniques in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*, 3(4), 93-108.
3. İnternet: Li J., Zhou Y. (2010). Target Tracking in Wireless Sensor Networks, Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design. *InTech*, Chapter 19. URL: <http://www.intechopen.com/books/wireless-sensor-networks-application-centric-design/target-tracking-in-wireless-sensor-networks>, Son Erişim Tarihi: 05.06.2014.
4. Alaybeyoğlu A. (2009). *Telsiz Duyurga Ağlarında Hedef Takibi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-14.
5. Alaybeyoğlu A., Kantarcı A., Erciyes K. (2009). *Telsiz Duyurga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları*. Akademik Bilişim Konferansı, Şanlıurfa.
6. Alaybeyoğlu A., Kantarcı A., Erciyes K. (2011). *Telsiz Duyurga Ağlarında Çok Hızlı Hareket Eden Hedefler için Hedef Takip Algoritmaları*. Akademik Bilişim Konferansı, Malatya.
7. Bhatti, S., Xu J. (2009). *Survey of Target Tracking Protocols using Wireless Sensor Network*. Proc. of 5th. International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC), Cannes.
8. Byunghun S., Haksoo C., Hyung S. L. (2008). *Surveillance Tracking System Using Passive Infrared Motion Sensors in Wireless Sensor Network*. Proc. of International Conference on Information Networking (ICOIN), Busan.
9. Xin Jin, S. Sarkar, A. Ray, S. Gupta and T. Damarla. (2012). Target Detection and Classification Using Seismic and PIR Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 12(6), 1709-1718.
10. Zhang Z., Gao X., Biswas J. and Wu K. K. (2007). *Moving Targets Detection and Localization in Passive Infrared Sensor Networks*. Proc. of 10th International Conference on Information Fusion, Quebec, Que
11. Sekmen A. S., Wilkes M. and Kawamura K. (2002). An application of passive human-robot interaction: human tracking based on attention distraction. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 32(2), 248-259.
12. Feng G., Liu M., Guo X., Zhang J. and Wang G. (2011). *Genetic Algorithm based Optimal Placement of PIR Sensor Arrays for Human Localization*. Proc. of International Conference on Mechatronic and Automation (ICMA), Beijing, Çin.

13. Hao Q., Brady D., Guenther B., Burchett J., Shankar M. and Feller S. (2006). Human tracking with wireless distributed pyroelectric sensors. *IEEE Sensors Journal*, 6(6), 1683-1696.
14. Shankar M., Burchett J., Hao Q., Guenther B. and Brady D. (2006). Human-tracking systems using pyroelectric infrared detectors. *Optical engineering*, 45 (10). 1-10.
15. Fang J., Hao Q., Brady D., Shankar M., Guenther B., Pitsianis N. and Hsu K. (2006). Path-dependent human identification using a pyroelectric infrared sensor and Fresnel lens arrays. *Optics Express*, 14(2), 609-624.
16. Lee S., Ha K. and Lee K. (2006). A pyroelectric infrared sensor-based indoor location-aware system for the smart home. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 52(4), 1311-1317.
17. Kim Y., Yeo M., Kim D. and Chung K. (2012). A Node Deployment Strategy Considering Environmental Factors and the Number of Nodes in Surveillance and Reconnaissance Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012(1), 1-11.
18. Jiming C., Kejie C., Keyong L. and Youxian S. (2011). Distributed sensor activation algorithm for target tracking with binary sensor networks. *Cluster Computing*, 14(1) 55-64.
19. Wei Z., Weiren S., Xiaogang W. and Kai W. (2012). Adaptive Sensor Activation Algorithm for Target Tracking in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012(1), 1-10.
20. Wei L. (2013). Camera Sensor Activation Scheme for Target Tracking in Wireless Visual Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013(1), 1-11.
21. Fayyaz M. (2011). Classification of Object Tracking Techniques in Wireless Sensor Networks. *Wireless Sensor Network*, 3(4), 121-124.
22. Min-Xiou C. and Che-Chen H. (2012). Efficient Dynamic Adaptation Strategies for Object Tracking Tree in Wireless Sensor Network. *Salesian Journal on Information Systems*, 10(1), 19-29.
23. Peynirci G., Gürgen M., Korkmaz İ., Hafizoğlu Y., Sürgevil U., Paçaman N. (2010). *Telsiz Duyurga Ağları ile Bir Nesne İzleme Senaryosu*. Akademik Bilişim Konferansı, Muğla.
24. Li-Hsing Y., Bang Y. W. and Chia-Cheng Y. (2010). Tree-Based Object Tracking Without Mobility Statistics in Wireless Sensor Networks. *Wireless Networks*, 16(5), 1263-1276.
25. Gopal K. and Krishnamoorthy R. (2013). Analysis of Cluster based Target Tracking in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Applications*, 62(7), 10-13.

26. Khalid A. D., Shereen S. I., Al-Shurman M., Iyad F.J., Alkhader E., Al-Mistarihi M. F. (2012). Performance evaluation of selective and adaptive heads clustering algorithms over wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(6), 2068-2080.
27. Jing T., Hichem S. and Cdric R. (2012). Prediction-based cluster management for target tracking in wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 12(9), 797-812.
28. Bhatti S., Xu J. and Memon M. (2011). Clustering and fault tolerance for target tracking using wireless sensor networks. *IET Wireless Sensor Systems*, 1(2), 66-73.
29. Kuo-Feng H., Hsing-Hsien W., Wei-Jie W., Ying-Hong W. (2012). *A Dynamic Tracking Mechanism for Mobile Target in Wireless Sensor Networks*. Proc. of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Tamsui.
30. Yong W. and Dianhong W. (2013). Energy-Efficient Node Selection for Target Tracking in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013(1), 1-6.
31. Zhibo W., Wei L., Zhi W., Junchao M. and Honglong C. (2013). A Hybrid Cluster-Based target tracking protocol for wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013(1), 1-16.
32. Hsu J. M., Chen C. C. and Li C. C. (2011). *Short-term prediction-based optimistic object tracking strategy in wireless sensor networks*. Proc. of IEEE 5th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), Seoul.
33. Mansouri M. and Khoukhi L. (2011). *Secure Quantized Target Tracking in Wireless Sensor Networks*. Proc. Of IEEE 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), İstanbul.
34. Fard A. P. and Nabae M. (2012). Secure Tracking in Sensor Networks using Adaptive Extended Kalman Filter. *CoRR abs/1204.3141*.
35. Mansouri M., Khoukhi L., Nounou H., and M. Nounou. (2013). Secure and Robust Clustering for Quantized Target Tracking in Wireless Sensor Networks. *Journal of Communications and Networks*, 15(2), 164-172.
36. Misra S., Bhardwaj, S. and Guoliang X. (2006). *ROSETTA: Robust And Secure Mobile Target Tracking In A Wireless Ad Hoc Environment*. Proc. of IEEE MILCOM 2006, Washington, DC.
37. Audun J. and Roslan I. (2002). *The Beta Reputation System*. Proc. of 15th Bled Electronic Commerce Conference e-Reality: Constructing the e-Economy Bled, Slovenia.
38. Saurabh G. and Mani B. S. (2004). *Reputation-based framework for high integrity sensor networks*. Proc. of 2nd ACM workshop on Security of ad hoc and sensor networks (SASN), Washington, DC.

39. Roosta, T., Meingast, M. and Sastry, S. (2006). Distributed Reputation System for Tracking Applications in Sensor Networks. Proc. of Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, San Jose, CA.
40. Younis M. and Akkaya K. (2008). Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, 6(4), 621-655.
41. Halder S., Ghosal A. and Das B. S. (2011). A pre-determined node deployment strategy to prolong network lifetime in wireless sensor network. *Computer Communications*, 34(11), 1294-1306.
42. Guvensan M. A. and Yavuz A. G. (2011). On coverage issues in directional sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, 9(7), 1238-1255.
43. Deif D. and Gadallah Y. (2013). Classification of Wireless Sensor Networks Deployment Techniques, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(2), 1-22.
44. Jing A. and Alhussein A. A. (2006). Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks. *Journal of Combinatorial Optimization*, 11(1), 21-41.
45. Onur E., Ersoy C., Delic H. and Akarun L. (2007). Surveillance Wireless Sensor Networks: Deployment Quality Analysis. *IEEE Network*, 21(6), 48-53.
46. Meghdadi M., Ozdemir S. and Guler İ. (2008). Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Güvenlik: Sorunlar ve Çözümler. *Gazi Üniversitesi Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 35-42.
47. Pathan A. K., Lee H. and Hong C. S. (2006). *Security in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges*. Proc. of 8th IEEE ICACT 2006, Phoenix Park.
48. Li Y. X., Qin L. and Liang Q. (2010). *Research on wireless sensor network security*. Proc. of IEEE International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS), Nanning.
49. Ozdemir S. and Xiao Y. (2009). Secure data aggregation in wireless sensor networks: A comprehensive overview. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 53(12), 2022-2037.
50. Larsson A. and Tsigas P. (2011). *Security in Wireless Sensor Networks*. Proc. of 7th European Conference on Computer Network Defense (EC2ND), Gothenburg.
51. Du X. and Chen H. H. (2008). Security in wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communication*, 15(4), 60-66.
52. Jain A., Kant K. and Tripathy M. R. (2012). *Security Solutions for Wireless Sensor Networks*. Proc. of 2nd International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies (ACCT), Rohtak, Haryana.



53. Ahmad Salehi S., Razzaque M.A., Naraei P. and Farrokhtala A. (2013). *Security in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges*. Proc. of IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace), Melaka.
54. Yang X. (Editör). (2007). *Security in Distributed, Grid, Mobile, and Pervasive Computing*, Boca Raton:Auerbach Publications, 367-410.
55. J. Sen. (2009). A Survey on Wireless Sensor Network Security. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 1(2), 55-78.
56. Salatas V. (2005). *Object Tracking Using Wireless Sensor Networks*, Master Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 11-25.
57. Samarah S., Al-Hajri M. and Boukerche A. (2011). A Predictive Energy-Efficient Technique to Support Object-Tracking Sensor Networks. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 60(2), 656-663:
58. Kaur Sarna S. and Zaveri M. (2010). *ERTA: energy efficient real time target tracking approach for wireless sensor networks*. Proc. of 4th International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), Venice.
59. Zhao F and Guibas L. (Editörler). (2003). *Information Processing in Sensor Networks*, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 32–46.
60. Deldar F. and Yaghmaee M. H. (2011). *Designing an Energy Efficient Prediction-based Algorithm for Target Tracking in Wireless Sensor Networks*. Proc. of IEEE International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), Nanjing.
61. Ozdemir S. and Cam H. (2010). Integration of False Data Detection with Data Aggregation and Confidential Transmission in Wireless Sensor Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 18(3), 736-749.
62. Meghdadi M., Ozdemir S., Guler İ. (2011). A Survey of Wormhole-Based Attacks and Their Countermeasures in Wireless Sensor Networks. *IETE Technical Review*, 28(2), 89-102.
63. S. Ozdemir. (2008). Functional reputation based reliable data aggregation and transmission for wireless sensor networks. *Computer Communications*, 31(17), 3941–3953.
64. Yang H. and Sikdar B. (2003). *A protocol for tracking mobile targets using sensor networks*. Proc. of 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, Anchorage, AK, USA.
65. Wang Z. B., Li H. B, Shen X. F., Sun X. C. and Wang Z. (2008). *Tracking and predicting moving targets in hierarchical sensor networks*. Proc.of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Sanya.
66. Wang Z. B., Wang Z., Chen H. L., Li J. F. and Li H. B.(2011). *Hiertrack-an energy efficient target tracking system for wireless sensor networks*. Proc. of 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Seattle.

67. Youn H. Y., Kim M. Morikawa H. (Editörler). (2006). *Ubiquitous Computing Systems*, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 200-209.
68. Alaybeyoglu A., Dagdeviren O., Erciyes K., Kantarci A. (2009). *Performance Evaluation of Cluster-based Target Tracking Protocols for Wireless Sensor Networks*. Prof of 24th International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS), Guzelyurt.
69. Malik T. A. (2005). *Target Tracking in WSN*, Master Thesis, Graduate Faculty of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, LA, 16-23.
70. Akbas S., Efe M. A., Ozdemir S. (2014). *Performance Evaluation of PIR Sensor Deployment in Critical Area Surveillance Networks*. 10th. IEEE International Conference on DCOSS, Marina Del Rey, CA, USA.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKBAŞ, Serkan  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 21.06.1986, Adapazarı  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (530) 540 37 40  
 Faks : -  
 E-Posta : sakbas.bilmuh@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Ege Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2008
Lise	Nevşehir Anadolu Lisesi	2004

### İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2008-Halen	HAVELSAN A.Ş	Yazılım Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Akbas S., Efe M. A., Ozdemir S. (2014, 26-28 Mayıs). *Performance Evaluation of PIR Sensor Deployment in Critical Area Surveillance Networks*. 10th. IEEE International Conference on DCOSS, Marina Del Rey, CA, USA.

### Hobiler

Kitap Okuma, Ailemle vakit geçirme, Basketbol



*GAZİ GELECEKTİR..*