

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME  
PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Osman HARMANKAYA**

**Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. H. Engin DEMİRAY**

**KOCAELİ, 2007**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME  
PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

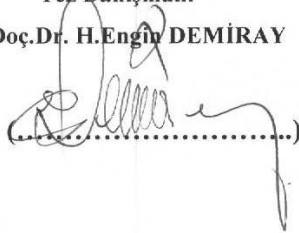
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Osman HARMANKAYA**

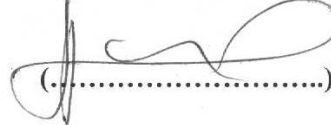
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13 Aralık 2007**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Ocak 2008**

**Tez-Danışmanı**  
**Yrd.Doç.Dr. H.Engin DEMİRAY**



**Üye**  
**Doç. Dr. İsmail ERTÜRK**



**Üye**  
**Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÖZÇELİK**



**KOCAELİ, 2007**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Günümüz teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, kablosuz iletişim önemini artırmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen Kablosuz Algılayıcı Ağ'lar (KAA'lar), son zamanlarda gelişen ve uygulama alanı giderek artan teorik ve pratik bir araştırma alanı olmuştur. KAA'lardaki en önemli sorunlardan birisi sınırlı enerji kaynaklarıdır. Enerjinin verimli kullanılması ve optimum iletişim, uygun yönlendirme protokollerinin kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Bu noktadan hareketle, günümüzde kullanılan ya da literatürde sunulan KAA yönlendirme protokolleri karşılaştırmalı olarak incelenerek, değişik uygulamalar için en uygun yönlendirme protokollerini belirlemek amacıyla referans teşkil edebilecek bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, teze başladığım günden bugüne kadar değerli birikimlerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, sorunlarımı dinleyip çözüm önerileri getiren ve değerli zamanı bana ayıran tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. H. Engin DEMİRAY'a, değerli birikimlerini bana aktaran, tezin hazırlanması esnasında değerli zamanını bana ayıran sayın Doç. Dr. İsmail ERTÜRK'e, tez ile ilgili araştırmaların yapılmasından, uygulamaların ve tezin yazılmasına kadar yardımlarını ve birikimlerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Arş. Gör. Kerem KÜÇÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bana verdiği destekle ve sağladığı huzurlu çalışma ortamıyla her zaman yanımda olan değerli eşime ve beni yetiştiren anneme, babama teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	v
SİMGELER.....	vi
KISALTMALAR .....	vi
Özet .....	vii
Abstract .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri .....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Motivasyonu .....	4
1.3. Tez Organizasyonu .....	5
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR.....	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Donanım Mimarisi .....	9
2.2.1. Algılayıcı düğüm mimari yapısı.....	9
2.2.2. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi.....	12
2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları.....	13
2.3.1. Endüstriyel otomasyon.....	14
2.3.2. Üretim, depolama ve taşımacılık.....	14
2.3.3. Yapı otomasyon .....	15
2.3.4. Çevresel takip.....	15
2.3.5. Sağlık .....	15
2.3.6. Elektronik ve bilgisayar .....	15
2.3.7. Askeri sistemler.....	15
2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağ Tasarım Faktörleri.....	16
2.4.1. Hata toleransı .....	16
2.4.2. Ölçeklenebilirlik.....	16
2.4.3. Üretim maliyeti .....	16
2.4.4. Donanım kısıtları.....	16
2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağların Avantajları ve Dezavantajları .....	17
2.5.1. KAA'ların avantajları.....	17
2.5.2. KAA'ların dezavantajları .....	18
2.6. Sonuç.....	19
3. KAA AĞ KATMANI .....	20
3.1. Giriş.....	20
3.2. KAA'larda Haberleşme Mimarisi .....	20
3.3. KAA Ağ Katmanı .....	23
3.4. Sonuç.....	25
4. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI.....	26
4.1. Giriş.....	26
4.2. Veri Merkezli KAA Yönlendirme Protokolleri .....	26

4.2.1. Flooding .....	27
4.2.2. Directed Diffusion.....	27
4.2.2.1. Directed Diffusion’da İlgî’nin yayılması .....	28
4.2.2.2. Directed Diffusion’da yol kurulumu ve güçlendirilmesi .....	30
4.2.2.3. Directed Diffusion’da veri gönderimi .....	31
4.2.3. Rumor Routing.....	32
4.2.4. SPIN .....	37
4.2.5. Energy Aware Routing.....	41
4.2.6. COUGAR.....	42
4.2.7. MCFA .....	42
4.2.8. GBR .....	43
4.2.9. CADR.....	44
4.3. Hiyerarşik KAA Yönlendirme Protokolleri .....	45
4.3.1. LEACH .....	46
4.3.2. PEGASIS .....	48
4.3.3. TEEN & APTEEN .....	48
4.3.4. TTDD .....	49
4.3.5. HPAR.....	50
4.4. Konum Tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri.....	51
4.4.1. GEAR.....	52
4.4.2. GAF.....	53
4.4.3. MFR, DIR, GEDIR .....	54
4.5. Servis Kalitesi Tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri .....	55
4.5.1. SAR.....	56
4.5.2. SPEED .....	57
4.6. KAA Yönlendirme Protokollerin Karşılaştırılması .....	57
4.7. Sonuç.....	69
<b>5. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN MODELLEMESİ VE BENZETİMİ .....</b>	<b>70</b>
5.1. Giriş.....	70
5.2. KAA Geliştirme ve Benzetim Araçları .....	70
5.3. OMNeT++ Geliştirme ve Benzetim Yazılımının Kullanıcı Arayüzü .....	72
5.4. KAA Flooding Yönlendirme Protokolünün Modellenmesi ve Benzetimi.....	74
5.3. Sonuç.....	78
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>79</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>81</b>
EK-A: EK CD İçeriği.....	85
KİŞİSEL YAYINLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Algılayıcı düğüm donanım yapısı.....	9
Şekil 2.2. Genel bir Kablosuz Algılayıcı Ağ uygulama örneği.....	13
Şekil 3.1. KAA haberleşme mimarisi .....	21
Şekil 3.2. KAA katmanları.....	22
Şekil 3.3. Yönlendirmede kullanılabilir olacak olası yollar .....	24
Şekil 4.1. DD İlgi'nin yayılması algoritması (Baz İstasyonu için).....	29
Şekil 4.2. DD İlgi'nin yayılması algoritması (Düğüm için) .....	30
Şekil 4.3. DD çalışma prensibi.....	31
Şekil 4.4. Rumor Routing'de ajan kullanımı .....	33
Şekil 4.5. Rumor Routing algoritması .....	35
Şekil 4.6. Rumor Routing yönlendirme protokollerinin kullanım alanı .....	36
Şekil 4.7. Implosion problemi .....	38
Şekil 4.8. Overlap problemi .....	38
Şekil 4.9. SPIN yönlendirme protokolünün çalışma prensibi.....	40
Şekil 4.10. LEACH KAA yönlendirme protokolünde dinamik kümeleme .....	47
Şekil 4.11. GEAR yönlendirme protokolünün çalışma yapısı .....	53
Şekil 5.1. OMNeT++ programının arayüzü .....	72
Şekil 5.2. OMNeT++'da MFW ile network arayüzü.....	73
Şekil 5.3. Sink(8) düğümünün alt katman yapısı .....	74
Şekil 5.4. Flooding KAA yönlendirme protokolü algoritması.....	77
Şekil 5.5. VC++ arayüzü.....	78

## **TABLÖLAR DİZİNİ**

Tablo 4.1. KAA yönlendirme protokol sınıflarının karşılaştırılması.....	61
Tablo 4.2. KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması.....	66
Tablo 4.3. Yaygın olarak kullanılan KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması .....	68

## SİMGELER

$\alpha$	: D�ğ�mler arasında veri iletiminde harcanan enerji
$z$	: Sabit sayı

## KISALTMALAR

CAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağ
WSN	: Wireless Sensor Network
DSP	: Digital Signal Process (Sayısal İşaret İşleme)
MAC	: Media Access Control(Ortam Erişim Kontrol�)
I/O	: Input/Output (Giriş/Çıkış)
A/D	: Anolog Dijital D�n�şt�r�c�
PA	: Power Available (Kullanılabilir G�ç)
ME	: Minimum Enerji
MH	: Minimum Hop (Minimum Adım)
DD	: Directed Diffusion
RR	: Rumor Routing
MCFA	: Minimal Cost Forwarding Algorithm
SPIN	: Sensor Protocols for Information via Negotiation
TEEN	: Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol
APTEEN	: Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol
HPAR	: Hierarchical Power-Aware Routing
TTDD	: Two-Tier Data Dissemination
GAF	: Geographic Adaptive Fidelity
GEAR	: Geographic and Energy Aware Routing
TTL	: Time-To-Live
GBR	: Gradient-Based Routing
EAR	: Energy Aware Routing
CADR	: Constrained Anisotropic Diffusion Routing
IDSQ	: Information-Driven Sensor Querying
LEACH	: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
PEGASIS	: Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems
MFR	: Most Forward within Radius
DIR	: Direction Routing
GEDIR	: GEographic DIstance Routing
SAR	: Sequential Assignment Routing
OMNeT++	: Objective Modular Network Testbed in C++
MSVC++	: Microsoft Studio Visual C ++
MFW	: Mobility FrameWork



# KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Ali Osman HARMANKAYA**

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Yönlendirme Protokolleri

**Özet:** Günümüzde Kablosuz Algılayıcı Ağ'ların (KAA'ların) kullanım alanları giderek artmaktadır. KAA'larda kullanılan değişik yönlendirme protokollerinin sağlamış olduğu avantajlar, bu konunun araştırma ve geliştirme alanları içerisinde ayrı bir önem kazanmasına neden olmuştur.

Bu tez çalışmasının temel amacı, yaygın olarak kullanılan KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu nedenle uygulamada kullanılan ve literatürde önerilen değişik KAA yönlendirme protokolleri incelenerek başarımlar değerlendirilmiştir. KAA yönlendirme protokolleri, veri merkezli, hiyerarşik, konum tabanlı ve servis kalitesi tabanlı olmak üzere dört ana sınıfta değerlendirilmektedir. Bunlardan veri merkezli KAA yönlendirme protokollerine bir örnek olarak SPIN'in, gerçekleşmesi nispeten kompleks olmakla birlikte, KAA enerji kullanımını optimum düzeyde tuttuğu belirlenmiş bulunmaktadır.

# **A COMPARISON OF WIRELESS SENSOR NETWORK ROUTING PROTOCOLS**

**Ali Osman HARMANKAYA**

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Routing Protocols

**Abstract:** Nowadays, Wireless Sensor Network (WSN) applications have become increasingly widespread. Different routing protocols employed in WSNs have various advantages. As a result, exploiting this issue provides valuable outcomes in the development of WSN applications.

The main objectives of this thesis study are to compare and to examine various routing protocols for WSNs with performance evaluations. WSN routing protocols are divided into four main classes that are data centric, hierarchical, location-based and QoS-based (Quality of Service). This thesis work has shown that although SPIN, a common data centric WSN routing protocol, is very complex to implement, its use in most of the WSN applications provides one of the best energy-aware results.

## 1. GİRİŞ

Günümüzün gelişen teknolojisinde bilgisayar ağlarının yeri çok önemlidir. Bilgisayar ağlarında ise KAA'lar artık daha kullanışlı hale gelmiş ve buna paralel olarak kullanım alanları da hızla artmaya başlamıştır.

KAA'lar güvenli izleme için yeni bir paradigma oluşturmuştur. Ayrıca büyük pahalı makrosensörler kullanan, kullanıcıya kadar kablolamaya ihtiyaç duyan geleneksel algılayıcı sistemlerin çok ötesinde bir performans göstermişlerdir. KAA'ların ayırt edici en önemli özellikleri arasında her zaman her yerde kullanılabilirlik, hataya karşı tolerans, geliştirilmiş doğruluk oranı ve düşük maliyet sayılabilir.

### 1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri

KAA'lar ile ilgili yapılan araştırmalarda, KAA'lardaki donanım yapısını, kullanım alanlarını ve kablosuz ağ tasarım faktörleri sunulmuştur. Ayrıca haberleşme mimarisinden ve temel olarak bazı yönlendirme protokollerinden bahsedilmiştir (Akyıldız ve diğ, 2001).

Günümüzde üzerinde çalışma yapılan ve de sunulan çok sayıda KAA yönlendirme protokolleri bulunmaktadır. K. Akkaya ve M. Younis yaptığı çalışmada, KAA yönlendirme protokollerini sınıflandırmıştır. Yönlendirme protokolleri çalışma şekilleri ve yapılarına göre kategorize edilmiştir (Akkaya ve diğ, 2003).

İncelenilen ve sunulan çalışmalarda bazı yönlendirme protokollerinin öne çıktığı görülmektedir. Bunlardan birisi olan Directed Diffusion(DD) yönlendirme protokolüdür. DD yönlendirme protokolünün çalışma prensibi ve metodolojisi anlatılmaktadır (Intanagonvivat ve diğ, 2000).

KAA'lar genellikle binlerce kısıtlı iletim kapasitesi olan algılayıcı düğümlerden oluşur. Enerji ise sınırlı kaynaklıdır. Bundan dolayı eylem ve sorguların ağda yönlendirilmesinde verimli enerji tüketimi öncelikli olmalıdır. Uzun menzilli iletimler çok fazla enerji harcadığından yönlendirme algoritmasında düğümler arasındaki iletim kısa adımlı olmalıdır. Bu kısa adımların sayısının da minimize edilmesi gerekir. Bu probleme çözüm olarak David Braginsky ve Deborah Estrin, Rumor Routing yönlendirme protokolünü sunmuşlardır (Braginsky ve diğ., 2002).

SPIN algoritması, özel algılayıcıların etkili veri yayması için ağdaki tüm algılayıcı düğümleri gözlemlemesi üzerine kurulmuştur. Tüm düğümler gözlemlenir ve potansiyel Baz düğümler üzerinde anlaşmaya varılır. SPIN algoritması klasik taşıma yönlendirme algoritmasındaki çökme, örtüşme, kaynak bilgisizliği problemlerine çözüm olarak geliştirildi (Heinzelman ve diğ., 1999).

MCFA algoritması, sabit Baz İstasyonu'na karşı yönlendirme tekniğini kullanır. Bunun için algılayıcı bir düğüm, ne bir ID numarasına ne de bir yönlendirme tablosuna ihtiyaç duyar. Bunun yerine her düğüm kendinden Baz İstasyonu'na hesap ettiği en kısa yolu kullanır. Algılayıcı düğümden iletilen her bir mesaj düğümün komşularına yayınlanır. Düğüm mesajı aldığı anda, kaynak düğüm ile Baz İstasyonu arasındaki en kısa yol olup olmadığını kontrol eder. Eğer yol en kısa ise, mesajı komşularına yayınlar. Bu işlem mesaj Baz İstasyonu'na ulaşınca kadar devam eder (Ye ve diğ., 2001).

GBR (Gradient-Based Routing) diye adlandırılan yönlendirme protokolü, DD yönlendirme protokolünün farklı bir şeklidir. GBR yönlendirme protokolünün anahtar fikri, İlgı'nin ağa yayıldığındaki adımların sayısı hafızasına almaktır. Şöyle ki, her bir düğümün Baz İstasyonu'na varması geçen gerekli en az adımların tutulduğu maliyet diye adlandırılan parametreyi hesaplayabilir. Düğümün iletim yolu ile komşusu arasındaki fark bağlantı üzerindeki yolları içermesidir. Düğümün iletim yolunda bağlantılar kurulurken diğer komşusu sadece veri alımında kullanılır (Schurgers ve diğ., 2001).

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) algoritması hiyerarşik yapıdadır. Temel çalışma yapısı itibariyle ağdaki düğümleri belirli kümeler halinde toplar ve küme başı ile veri iletimi gerçekleştirilir. LEACH, enerji-duyarlı değildir ve sürekli-çalışma modelini varsayar. Diğer birçok yönlendirme protokolünden farklı olarak, LEACH adım adım (hop-by-hop) yönlendirme izlemez (Heinzelman ve diğ., 2002).

PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) protokolü, her devrede Baz İstasyonu'na sadece bir düğümün iletim yapmasına ve düğümlerin sadece yakın komşularıyla iletişim kurmasına izin verir. Çalışma modeli ve radyo modeli bakımından LEACH ile PEGASIS arasında fark yoktur. PEGASIS iki kavram üzerine odaklanmıştır; zincirleme ve veri birleşimi (Lindsey ve diğ., 2001).

İki kademeli bilgi aktarımı adı verilen TTDD yönlendirme protokolü, birden fazla Baz İstasyonu'na bilgi aktarımına imkan vermektedir. İki kademeli bilgi aktarımında her bir bilgi kaynağı algılayıcı düğümlerin sabit ve bölgeye duyarlı olduğunu kabul ederek mobil havuzlara bilgi aktarmak için kullanmak üzere bir şebeke oluşturur. İki kademeli bilgi aktarımında algılayıcı düğümler sabit ve duyarlıdır, halbuki algılayıcı alanlar konumlarını dinamik bir şekilde değiştirebilirler. Bir eylem ortaya çıktığında, olayın civarındaki algılayıcılar sinyal işlemden geçirirler ve bu algılayıcılardan biri bilgi raporu hazırlamak için kaynak görevi üstlenir (Ye ve diğ., 2002).

TEEN & APTEEN yönlendirme protokolleri hiyerarşik KAA yönlendirme protokolleridir (Manjeshwar ve diğ., 2002), (Manjeshwar ve diğ., 2001). Bu protokoller önemli zaman uygulamaları için önerildiler.

HPAR (Hierarchical Power-Aware Routing), yönlendirme protokolü bir hiyerarşik KAA yönlendirme protokolüdür (Li ve diğ., 2001). HPAR yönlendirme protokolü, ağı algılayıcı düğüm gruplarına böler. Aynı coğrafi konumdaki algılayıcı düğümler beraber kümelenir. Her bir küme ise varlık olarak kabul edilir. Yönlendirmeyi gerçekleştirmek için her bir kümeye diğer kümeye veri mesajını nasıl yönlendireceğine karar vermesine izin verilir. Böylece sistemdeki düğümlerin güç ömürleri maksimize edilir.

GEAR (Geographical and Energy-Aware Routing) algoritması sorgu-yanıt modelini kullanır (Yu ve Diğ, 2001). Her düğümün, kendi konumunu, enerji seviyesini, komşularının konumları ve enerji seviyelerini bildiğini varsayar.

GAF, enerji duyarlı ve konum tabanlı KAA yönlendirme protokolüdür (Xu ve diğ, 2001), (Subramanian ve diğ, 2000), (Rodoplu ve diğ, 1999). İlk olarak hareketli ağlar için dizayn edilmiştir ama algılayıcı ağlar içinde uygulanabilmektedir.

MFR(Most Forward within Radius), DIR(DIrection Routing), GEDIR( GEographic DIstance Routing) yönlendirme protokolleri temel mesafe, ilerleme ve yön temelli metotları kullanırlar (Stojmenovic ve diğ, 1999). Anahtar fikirler ise iletme yönü ve geri bildirim yönleridir.

KAA yönlendirme protokollerinde servis kalitesi fikrini ileri süren ilk yönlendirme protokolü SAR (Sequential Assignment Routing ) yönlendirme protokolüdür (Akyildiz ve diğ, 2002), (Sohrabi ve diğ, 2000). SAR yönlendirme protokolündeki dağıtım kararları üç faktöre bağlıdır, enerji kaynakları, her rota üzerindeki servis kalitesi ve her bir paketin öncelik düzeyi.

KAA için sunulan bir başka protokol ise SPEED'dir (He ve diğ, 2003). SPEED, gerçek zamanlı noktadan noktaya iletimi garanti eden bir yönlendirme protokolüdür. İletimi garanti etmesi servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolü olmasını sağlamaktadır. SPEED yönlendirme protokolünde her düğüm, komşu düğümlerinin bilgilerini içerir. İletim yollarını bulabilmek için coğrafi yönlendirmeyi kullanır.

## **1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Motivasyonu**

21. yüzyıl teknoloji çağının en önemli gelişmelerinden birisi haberleşmedir. Teknolojideki hızlı ilerlemeler ile günümüzde haberleşme teknikleri gelişmiş ve artık kablosuz haberleşmeler önem kazanmıştır. Kablosuz haberleşmede ise KAA'ların gelişmesi hızla artmaktadır. KAA'ların kullanım alanlarının çok geniş olması ve

insansız alanlarda dahi kolay kurulumu ve çalışması konunun önemini daha da arttırmaktadır.

KAA'lardaki enerji problemleri ve haberleşme problemleri, verilerin nasıl gönderilmesi gerekliliğinin önemini artırmaktadır. Bu tez çalışması ile kablosuz algılayıcı ağlarda haberleşme teknikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda yönlendirme teknikleri incelenerek kıyaslamaların yapılması amaçlanmaktadır.

KAA'larda yönlendirme protokollerinin çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulması, karşılaştırma açısından avantaj sağlayacaktır. Kablosuz algılayıcı ağlarda en yaygın kullanılan yönlendirme protokolleri incelenerek karşılaştırılmaları yapılmaktadır. Kullanım alanları ve yöntemleri incelenmektedir.

KAA'ların ve kullandıkları yönlendirme mekanizmalarının yeni teknoloji olması ve gelecekte daha yaygın bir biçimde kullanılacak olması sunulan bu tez çalışmasının temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

### **1.3. Tez Organizasyonu**

Bu yüksek lisans tez çalışması aşağıda belirtilen 6 bölümden oluşmaktadır.

Bölüm 1: Giriş: Tez çalışmasının amacı, literatürde sunulan çalışmaların özeti ve tezin motivasyonu hakkındadır.

Bölüm 2: Kablosuz Algılayıcı Ağlar: Bu bölümde KAA'larla ilgili temel bilgiler, KAA donanım yapısı, KAA'ların uygulama alanları ve KAA'ların avantaj ve dezavantajları anlatılmaktadır.

Bölüm 3: KAA Ağ Katmanı: KAA yönlendirmesi, KAA haberleşme mimarisi ve KAA Ağ Katmanı hakkındadır.

Bölüm 4: Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırması: Bu bölümde yönlendirme protokolleri açıklanmaktadır. KAA yönlendirme protokolleri sınıflandırılarak çalışma prensipleri ve kullanım alanları üzerinde durulmaktadır. İncelenen yönlendirme protokollerinin başarımlarını kıyaslaması sunulmaktadır.

Bölüm 5: Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokollerinin Modellemesi ve Benzetimi: KAA yönlendirme protokollerinin modellenmesi ve benzetimine örnek olarak Flooding algoritması OMNeT++ yazılımıyla modellenerek benzetim ortamında gerçekleştirilmesi sunulmaktadır.

Bölüm 6: Sonuç ve Öneriler: Karşılaştırılmalı inceleme çalışmalarının bir özeti ve KAA yönlendirme protokolü tasarımı ve uygulamalarına ışık tutacak öneriler vurgulanmaktadır.



## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

### 2.1. Giriş

Kablosuz haberleşme ve elektronikteki son gelişmeler, düşük maliyetli, düşük güçlü, çok fonksiyonlu algılayıcı düğümlerinin gelişimini güçlendirmiştir. Bunun sonucunda algılayıcı düğümler oldukça küçük boyutlu, kısa mesafelerde algılama, veri işleme ve haberleşme yeteneğine sahip olmuşlardır. Algılayıcı düğümlerden oluşan algılayıcı ağlar, kompleks ortamlarda anlık veri işleme yapabilen, büyük ölçekli ağlardır. Belirli bir olguyu algılamak için tasarlanmış yapılardır. Düğümler çevrelerindeki sıcaklık, nem, basınç, gibi nicelikleri ölçebilme ve etrafındaki diğer düğümlerle veya Baz İstasyonu'na veri gönderme özelliklerine sahiptirler. Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) amaca uygun olarak bir araya gelen algılayıcılardan oluşmuş, işbirlikçi olarak çalışmaya dayanan bir ağdır.

KAA'lar fiziksel dünya etkileşiminde bulunmak için ortama yerleştirilmiş küçük boyutlu algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır. Bu düğümler algılama alanı olarak adlandırılan fiziksel bir alanda otonom bir şekilde bir işbirliği içersine girerek fiziksel dünyadan algıladıklarını sanal dünya ortamına taşımaktadır. KAA'larda fiziksel ortamdaki, çeşitli algılayıcılar yardımıyla algılanan veriler kablosuz bir biçimde kulaktan kulağa olarak da adlandırılan işbirliği yöntemiyle hedefleri olan bilgi işlem ağına aktarılmaktadır. Bilgi işlem ağına olan geçit Baz İstasyonu olarak adlandırılan düğüm yardımıyla sağlanır. Baz İstasyonu hem algılayıcı düğümleri hem de haberleşme ağıyla iletişim kurabilen özel bir düğümdür. Baz İstasyonu enerji problemi olmayan statik ve hesaplama kabiliyeti yüksek bir düğüm olarak kabul edilir.

Algılayıcı düğümler ise kablosuz ve genellikle radyo teknolojisi ile iletişim kuran, enerji ve hesaplama kabiliyetleri sınırlı düğümlerdir. Algılayıcı düğümler 35 mm

teneke kutu içersinde, kendi pili, Radyo Frekans adaptörü, mikrokontrolörü ve algılama panosu ile tümleşik bir yapı oluşturur. Bu düğümler algılama alanındaki bazı durumları ve olayları algılamak ve takip etmek amacı ile otomatik olarak yerleştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu düğümler kendi ağlarını kendileri organize ederler, önceden programlanmış bir ağ topolojisi söz konusu değildir (Wang ve diğ, 2000).

KAA'lar, uygulamaya bağlı olarak uygulama sahasında konuşlandırılmasına (elle konumlarına yerleştirilmesi, uçaktan atılması gibi) müteakiben, algılayıcıların birbiri ile iletişim kurması ile oluşmaya başlar. Donanım ve iletişim gücü itibarıyla güçlendirilmiş algılayıcılar, Baz İstasyonu (sink) etrafında dizayn aşamasında belirlenen protokoller çerçevesinde tamamen kendi kendilerine kısa sürede organize olurlar. Algılayıcıları vasıtasıyla tespit ettikleri veriyi Baz İstasyonu'na birbirleri üzerinden ulaştırırlar. Baz İstasyonu kendisine ulaşan veriyi kullanıcıya erişim noktalarından (uydu, sabit/hareketli aktarıcı) ya da direk olarak ulaştırır. Verinin iletimi sırasında Internet, İtranet gibi ağ erişimleri de kullanılabilir.

KAA'ları geleneksel kablosuz ağlardan ayıran özellikler şunlardır (Akyildiz ve diğ, 2002);

- KAA'lardaki algılayıcı sayısı geleneksel kablosuz ağlardaki bilgisayar sayısından çok daha fazla olabilmektedir,
- Algılayıcı uygulama sahasında algılayıcıların yoğunluğu fazladır,
- Gerek donanımlarının minyatüre edilmiş olduğundan gerekse de atıldıkları saha özelliğinden bazılarının çalışmama/çalışmama ihtimalleri vardır,
- Donanım özellikleri kısıtlıdır (sınırlı batarya, işlemci, bellek),
- Adrese dayanan statik bir topolojileri yoktur,
- Her birinin başında kullanıcısı yoktur, uygulama sahasına bırakıldıktan sonra kendi kendilerine organize olmak zorundadırlar.

## 2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Donanım Mimarisi

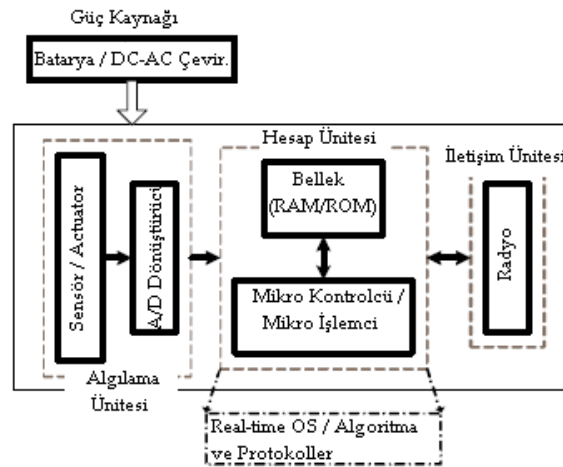
### 2.2.1. Algılayıcı düğüm mimari yapısı

Kablosuz Ad-hoc ağlar, düşük güç tüketen elektronik cihazlar, kısa mesafe haberleşme sağlayan radyolar ve akıllı algılayıcıların geliştirilmesi, KAA'ların yayılmasını olası kılan en önemli teknolojik etkenlerdir (Feng ve diğ 2001).

KAA'ların yapısı şu düzeyler altında toplanır;

- KAA düğümlerinin üzerinde bulunan bileşenler (işlemci, haberleşme ünitesi, bellek, algılayıcı ve/veya erişim düzeneği ve güç kaynağı )
- Düğüm düzeyi
- Dağıtılmış Ağ Sistemi düzeyi

KAA Düğümlerindeki Bileşenler: Algılayıcı düğümler genelde 6 tip bileşenden oluşur. Bunlar; işlemci, bellek ünitesi, güç kaynağı, algılayıcı ve/veya erişim düzeneği ve son olarak, haberleşme alt sistemidir. Standart işlemcilerin DSP (Sayısal İşaret İşleme) ile takviye edildiği, yardımcı işlemciler ve ASIC üniteleri ile düşük enerji seviyelerinde çalışabildiği ve yeterli yeteneklere sahip olduğu görülmektedir. Erişim düzenekleri uygulama bakımından henüz KAA düğümlerinde kullanılabilecek seviyede değildir. Bu sebeple, diğer beş bileşen daha önemlidir. Şekil 2.1'de bir algılayıcı düğümün sistem mimarisi karakterize edilmiştir.



Şekil 2.1. Algılayıcı düğüm donanım yapısı

Daha ayrıntılı biçimde bir algılayıcı düğümünün bileşenlerinin işlevlerini ve mimari yapısını incelenmektedir (Feng ve diğ 2001).

İşlemci: Berkeley BWRC araştırma grubu prototip olarak bir işlemciyi tasarlayıp gerçeklenmesini yaptı. Bu işlemcinin asıl amacı, kablosuz cihazlar için ses işleme ve bununla ilgili uygulamalarda işlem yapmaktır. Örnek olarak işlemci, müzede ziyaretçiler ile sergilenen öğeler arasında daha iyi etkileşimi sağlamak için kullanılabilir. Maia işlemcisi ARM8 çekirdeği ve etrafındaki yirmi bir yardımcı işlemci ile geliştirildi. Bu yirmi bir işlemci; iki MAC, iki ALU, sekiz adres üretici, sekiz gömülü hafıza ve gömülü düşük-enerjili FPGA içerir. Hedef; düşük enerji seviyelerinde paralelliği sağlamaktır. ARM8 çekirdeği 32 bit ayarlanabilen yolu sayesinde, bellek haritası çıkarılmış uyduları ayarlayabilir. Ayrıca birlikte iki çift I/O (giriş-çıkış) portunu kullanıp, uydunun yardımcı işlemcisiyle veri iletimini, direkt bellek okuma/yazma işlemleri ile uygulayıp sağlar. ARM8 ile uydu yardımcı işlemcisi arasındaki etkileşimler arayüz kontrol ünitesi üzerinden gerçekleştirilir.

Tüm uydular arasındaki bağlantı iki-seviyeli, hiyerarşik, ızgara-yapılı, yeniden ayarlanabilen ağ kullanılarak gerçekleştirilir. Bu ağ, maliyet, güç tüketimi ve sağladığı band genişliği bakımından olumlu bir yapı sağlar. İşlemci 210 pinli çip, 1.2 milyon transistör içerir ve 5.2 x 6.7 mm'lik boyutlara sahiptir. Ayrıca 0.25 mm'lik 6 metal CMOS içerisindedir.

Toplam enerji sarfiyatını azaltmak için ARM8 çekirdeği farklı gerilim değerlerinde çalışabilmektedir. Buna ek olarak çift aşamalı, pipeline (ardışık düzen) kullanan MAC (Media Access Control) ve ALU ayarlanabilen bir yapıya sahiptir. Adres üreticileri ve gömülü bellek ünitesi, hesaplama ünitesine eş zamanlı/çoklu veri akışı sağlar. Gömülü FPGA, 5 girişin 4x8'lik bir dizisine ve üç çıkış CLB'lerine sahiptir. Bu, aritmetik işlemler ve veri akış kontrol fonksiyonları için kullanılabilir. Arayüz kontrol ünitesi, senkron ARM8 çekirdeği ile asenkron veri yollarının, senkronizasyonunu ve iletişimini koordine eder. Aynı zamanda arayüz kontrol ünitesi ARM8'in uyduların ayarlarını yapabilmesini mümkün kılar. Bütün olarak hedeflenen hesaplama modeli, global olarak asenkrondur, lokal olarak senkron hesaplama yapar ve çoklu oran/değer işlemlerini destekler.

Bellek/Depolama ünitesi: KAA'ın kullanım alanına göre seçilmesi gereken depolama şekli değişmektedir. Örneğin anlık veriyi Baz İstasyonu'na transfer etmesi gereken sistemlerde kullanılacak belleğin kapasitesi ile veriyi uzun zaman aralıkları sonrasında ana düğüme transfer eden sistemlerin bellek gereksinimleri birbirinden farklıdır. İki tip ağda da ana hedef az sayıda bağlantı kurup enerji sarfiyatını az tutmak ve bağlantının süresini olabildiğince kısa tutmaktır. Bazı sistemlerde yapılacak hesaplamalar için depolama ünitesinin kapasitesi önemli bir gereksinimdir. Mikro Disk üzerinde depolama yapan düğümler de mevcuttur, bunlar nispeten daha büyük fiziksel boyutlara sahiptir.

Bellek seçiminde ilk seçenek giderek azalan maliyetleri ve yüksek kapasiteleri ile flash belleklerdir, ancak bunların aynı fiziksel bölgeye kaç sefer yazma/silme işlemi yapabileceği kuşkuludur. İkinci seçenek, nanoelektronik tabanlı MRAM'lerdir bunların da yakın gelecekte, çok sayıda alanda kullanıma destek vermesi beklenmektedir.

Güç Kaynağı: KAA'ların gelişimindeki en büyük kısıtlamanın enerji olduğu bilinmektedir. Enerji kaynağı olarak iki kavram şu anda mevcut durumdadır ;

- Algılayıcı düğümünü enerji kaynağı (şarj edilebilir) ile donatmak. Bu şekilde kullanım için iki seçenek mevcut :
- a.) Yüksek yoğunluklu batarya düğümleri ile donatım
- b.) Dolu batarya kullanımı. Dolu batarya daha temiz ve yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak KAA düğümlerinde kullanılacak fiziksel yapıya sahip değiller.
- Doğal kaynaklardan enerji üretimi; Güneş enerjisi ile dolan düğümler yaygın olarak saat, hesap makinesi gibi cihazlarda kullanılmaktadır. Bunun yanında titreşimi enerjiye çeviren kaynaklarda kullanılabilir. Ortamın sıcaklığını enerji kaynağı olarak kullanabilen güç kaynakları üretilmiştir.

Algılayıcı: KAA düğümlerinin amacı, hesaplama, analiz ya da haberleşme değildir, algılamaktır. Algılayıcı olarak kullanılan düğümlerin ilerlemesindeki en büyük engellerden birisi, algılama bileşeninin yarı iletkenlerdeki hızlı ilerlemeyle paralellik sağlayamaması aynı hızla ilerleme kaydedememesidir. Kavramsal sınırlamalar

algılayıcılar için işlemci ya da depolama ünitelerinden daha belirgin bir öneme sahiptir. Örnek verilmesi gerekirse; algılayıcılar gerçek dünya şartlarıyla yüz yüze gelmekte, hesaplama üniteleri ise tek bir çip içerisinde kontrol edilmiş bir ortamla karşı karşıyadır. Değiştiriciler (Transducer) algılayıcı düğümlerinde ön uçta kullanılıp, enerjiyi bir formdan diğerine çevirme işini yaparlar. Bunlara ek olarak, algılayıcılar 4 farklı bileşen daha içerebilirler; Analog, A/D (analog dijital dönüştürücü), Dijital ve Mikrodenetleyici.

En basit haliyle bir düğüm sadece değiştirici içerir; fakat, günümüz şartlarında bir düğüme birçok algılama görevi yüklendiği için, düğümlere işleme ve hesaplama üniteleri de eklenir.

Radyo: Kısa mesafe radyolarının iletişim bileşeni olarak kullanımı son derece önemlidir çünkü enerji sarfiyatında mesaj alma ve verme (alıcı/verici) işlemleri toplam sarfiyat üstünde en etkin kalemlerin başında gelir. Radyonun dizayn ve seçim aşamasında en az 3 farklı katman dikkate alınmalıdır;

Fiziksel, MAC, ve Ağ katmanları: Fiziki katman alıcı ya da vericilerle fiziki bağlantıyı kurmakla yükümlüdür. Bu seviyedeki ana görevler; sinyal kipleme (modülasyon) ve verinin şifrelenerek iletişiminin, kanal gürültüsü ve sinyal karışmasından korunmasıdır. Band genişliğini etkin bir biçimde kullanmak ve geliştirme maliyetini azaltmak için yapılması gereken standart uygulama; birden çok radyonun aynı ortamı paylaşmasıdır. Ortamın paylaşımı MAC katmanı tarafından kolaylaştırılmıştır. Son olarak Ağ katmanı bir mesajın kaynaktan hedefe transfer edilebilmesi için izlemesi gereken yolun tespitinden sorumludur.

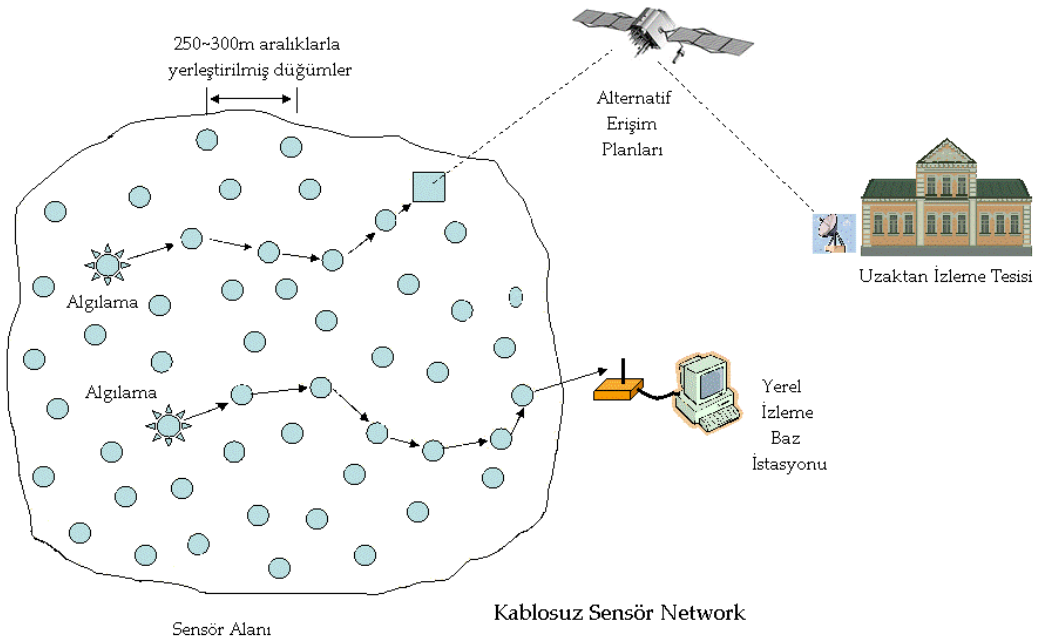
### **2.2.2. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi**

KAA temel elemanları, algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip algılayıcı düğümlerdir. Bilindiği gibi algılayıcı düğümler, herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri ortama rasgele saçılmış halde bulunurlar. Şekil 2.2 bir

KAA mimarisini karakterize etmektedir. İzlemenin yapıldığı ortamda toplanan veri genelde 3 seviyede işlenilir (Perrig 2004).

- İzlenilecek ortamdaki olaylar, algılayıcı düğümler tarafından algılanır. Her bir algılayıcı düğüm elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir.
- İkinci seviye de her düğüm algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.
- KAA haberleşmesindeki en üst katman, işlenmiş verinin Baz İstasyonu olarak adlandırılan merkeze yollanılmasıdır.

Baz İstasyonu'na gönderilen veri eğer başka kıstaslar eşliğinde tekrar analiz edilecekse ya da başka amaçlar için kullanılacaksa bu işlemlerin yapılacağı sistemlere ya da merkezlere iletimi sağlanır.



Şekil 2.2. Genel bir Kablosuz Algılayıcı Ağ uygulama örneği

### 2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları

KAA'ların uygulama alanları, algılayıcı tiplerinin genişliği oranında çeşitlendirilebilmektedir. Algılayıcıların ana birimlerinden olan ve uygulamalara temel teşkil edecek çok çeşitli algılayıcı tipleri vardır (Estrin ve diğ., 2000). Bunlar:

- Sıcaklık ölçümü
- Nem ölçümü
- Hareket algılama
- Aydınlık tespiti
- Basınç ölçümü
- Sismik değer ölçümü
- Görüntü tespiti
- Gürültü algılama/ölçümü
- Canlı/cansız varlık tespiti
- Mekanik gerginlik algılama/ölçümü
- Hız, yön, miktar tespiti/ölçümü

KAA'ların kullanım alanları insanın hayal gücü ile sınırlıdır olmaktadır. Günümüzde kablolu ağlarda yapılan uygulamalara alternatif olmalarının yanında kablolu ağlar ile yapılamayan birçok uygulamaya da gerçekleştirme imkanı sunmaktadır. Genel olarak kullanım alanları alt başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır (Akyıldız ve diğ, 2002).

### **2.3.1. Endüstriyel otomasyon**

- Süreç izleme ve kontrol
- Varlıkların ve değerlerin korunması
- Enerji hatalarının izlenmesi ve bütünlüğünün sağlanması
- Benzin-Gaz üretimi ve taşımacılığı
- Titreşim izleme

### **2.3.2. Üretim, depolama ve taşımacılık**

- Ürün takibi
- Trafik izleme
- Ürün yer tayini
- Güvenlik
- Akıllı taşıyıcılar ( deformasyon vs.)



### **2.3.3. Yapı otomasyon**

- HVAC kontrol
- İzleme ve kayıt
- Güvenlik
- Yer tayini (çalışan, malzeme, araç...)
- Işıklandırma kontrolü
- Yangın alarmı
- Deprem tahmini

### **2.3.4. Çevresel takip**

- Tarım-Sulama-Seracılık
- Gıda kalitesi
- Hava durumu
- Hayvancılık

### **2.3.5. Sağlık**

- Sağlık parametreleri izleme
- Yer tayini
- Düşme tespiti
- Yaşlı kişilerin takibi

### **2.3.6. Elektronik ve bilgisayar**

- Akıllı evler
- TV-DVD-VCR
- Kablosuz PC yan ürünleri
- Cep telefonlar

### **2.3.7. Askeri sistemler**

- Düşman izleme
- Alçak mesafe ses radarları
- Denizaltı algılayıcıları
- Personel ve taşıt izleme
- Güvenlik

## **2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağ Tasarım Faktörleri**

### **2.4.1. Hata toleransı**

Algılayıcı düğümler, sınırlı güç, fiziksel hasar veya çevresel etkiler nedeniyle bloklanıp, bozulabilirler. Bozulan algılayıcı düğümlerin, tüm ağın performansını düşürmesine izin verilmemelidir. Bu alan güvenilirlik ve hata toleransını gerektirir. Hata toleransı, algılayıcı düğümler de oluşabilecek hatalara rağmen, ağın fonksiyonelliğinin kesilmeden devam edebilmesidir.

### **2.4.2. Ölçeklenebilirlik**

İzlenilecek olaya yakın olarak yerleştirilen algılayıcı düğümler, yüzlerce ya da binlerce olabilir. Uygulamaya bağlı olarak, bu değer milyonlara erişebilmektedir. KAA için yaratılacak şemanın, bu sayıdaki düğümlerle çalışabilmeyi başarabilmesi gereklidir. Bu şema aynı zaman da KAA'nın, yüksek yoğunlukta kullanılabilmesini de sağlamalıdır. Bu konu ölçeklenebilirlik ile alakalı olup, bu konuda çalışmalar sürmektedir.

### **2.4.3. Üretim maliyeti**

KAA'lar, çok sayıda algılayıcıyı içinde barındırdığından, tek bir algılayıcının maliyeti, tüm ağın maliyeti için büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, her bir algılayıcının maliyetinin düşük tutulması gerekmektedir.

### **2.4.4. Donanım kısıtları**

Bir algılayıcı düğümün dört temel elemanı vardır. Bu elemanlar, algılayıcı birimi, işlem birimi, radyo frekanslı alıcı/verici ve güç birimidir. Uygulamaya bağlı olarak da, yer bulucu sistem, güç üretici, ve hareket ettirici gibi ekstra elemanlara ihtiyaç

duyulabilmektedir. Algılama birimi, genellikle iki alt birimden oluşur: algılayıcılar ve ADC. Algılayıcılar tarafından gözlemlenen olay temelinde üretilen analog sinyaller, ADC tarafından sayısal işaretlere çevrilir. Merkezi işlem birimi, genelde küçük bir saklama birimine sahiptir. Bu birim genelde, düğümün diğer düğümlerle ortaklaşa çalışmasını sağlayarak, atanılan algılama işlemlerini gerçekleştirir. Alıcı/verici birim, düğümü ağa bağlar. Algılayıcı düğümün en önemli öğelerinden biri, güç birimidir. Güç birimi genelde güç üretebilen birimler tarafından desteklenir (örneğin Güneş enerjisi gibi).

Uygulamaya bağlı olarak ekstra elemanlar kullanılmaktadır. Örneğin çoğu KAA'da, yol bulma teknikleri ve sezme (algılama) işlemleri yüksek seviyede doğruluğa sahip konum bilgisi gerektirmektedir. Bu eleman genelde yer bulma sistemi olarak adlandırılır. Algılayıcıların belirli biri işi gerçekleştirmek için hareket etmesi gerektiğinde ise "hareket ettirici" elemanı kullanılmaktadır.

## **2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağların Avantajları ve Dezavantajları**

KAA'ların sahip oldukları avantajları ve dezavantajlar sunulmaktadır.

### **2.5.1. KAA'ların avantajları**

KAA'ların en önemli avantajlarını aşağıda sıralanan başlıklar altında inceleyebiliriz.

- Gezinlik, Özgürlük: Kablosuz haberleşen düğümler algılama alanında herhangi bir kısıtlama olmaksızın gezebilmektedir, bu ağ topolojisine sınırsız bir özgürlük ve dinamiklik kazandırmaktadır.
- Taşınabilirlik: Herhangi bir kablolu ve enerji altyapısı gerektirmediğinden mevcut ağın bir yerden başka bir yere taşınması çok kolay olabilmektedir.
- Yeniden Kullanılabilirlik: Düğümlerin temel amacının fiziksel dünyadan çeşitli verilerin algılanması olduğu düşünülürse bu düğümlerin defalarca çeşitli şekillerde ve farklı uygulamalarda yeniden kullanılabilir olacaktır.
- Kolay Kullanım: Algılayıcı düğümler kendi aralarında dinamik bir biçimde organize olarak herhangi bir ayar gereksizden değişen koşullara ayak

uydurarak çalışmalarını yürütebilirler. Bu özellikleri sayesinde kullanımları çok kolaydır.

- Ölçeklenebilirlik: Her hangi bir KAA'na yeni düğümlerin veya bütün halindeki başka bir KAA'nın katılması kolaylıkla ve dinamik bir şekilde mümkün olabilmektedir.
- Düşük Maliyet: Günümüzde gelişen mikroişlemci teknolojisi sayesinde algılayıcı düğümler oldukça ucuzlamıştır kablosuz algılayıcı düğümleri ile yapılan uygulamalar kablolulara oranla beşte bir oranla daha ucuz olmaktadır.

### **2.5.2. KAA'ların dezavantajları**

KAA'ların en önemli dezavantajlarını aşağıda sıralanan başlıklar altında inceleyebiliriz.

- Kısıtlı kaynaklar: Algılayıcı düğümlerin kısıtlı işlem ve bellek kapasiteleri yüzünden birçok işlem yüksek algoritmik gereksinimler yüzünden yapılması zorlaşmaktadır. Aynı zamanda sınırlı enerji kapasiteleri yüzünden topolojinin hayatta kalma süresi de sınırlı olmaktadır.
- Yönetim ve İzlenebilirlik Zorluğu: Uzaktan yönetim ve trafik mühendisliğinin yapılması için gereken algoritmalar KAA'lar için büyük ve kaynak israfına sebep olmaktadır çünkü düğümler ancak temel gereksinimleri yapabilmeleri öngörülerek tasarlanmıştır. Bu yüzden kablolu ağlara oranla yönetilebilirlikleri ve izlenebilirlikleri çok kısıtlı bir biçimde yapabilmektedir.
- Yüksek Hata Olasılığı: Yapılan algılama işlemleri fiziksel etkiler sebebiyle ve haberleşmede ise kablosuz haberleşmenin karakteristikleri yüzünden hata oranı kablolu sistemlere göre çok yüksek olmaktadır.
- Servis Kalitesi: Yüksek hata ve aşırı dinamik topoloji belirli bir servis kalitesini tutturmayı neredeyse imkansız hale getirmektedir.

## 2.6. Sonuç

Son zamanlardaki teknolojik gelişmeler, KAA'ların önemini artırmaktadır. Günümüzde KAA'lar üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. KAA'lar, farklı algılama kapasitesine sahip küçük boyutlu algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır.

Kablosuz iletişim ortamının kullanım gereksinimlerinin artmasıyla KAA'ların kullanım alanları artmaktadır ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Kullanım alanları, algılayıcıların yaşamsal olmayan ortamlarda da çalışması ile daha da artmaktadır.

KAA'ların düşük maliyet, özgünlük, taşınabilirlik, kullanım kolaylığı, yeniden kullanılabilirlik gibi avantajlarının yanı sıra kısıtlı kaynak, yönetim ve izleme zorluğu, yüksek hata olasılığı ve servis kalitesi gibi dezavantajları da vardır.

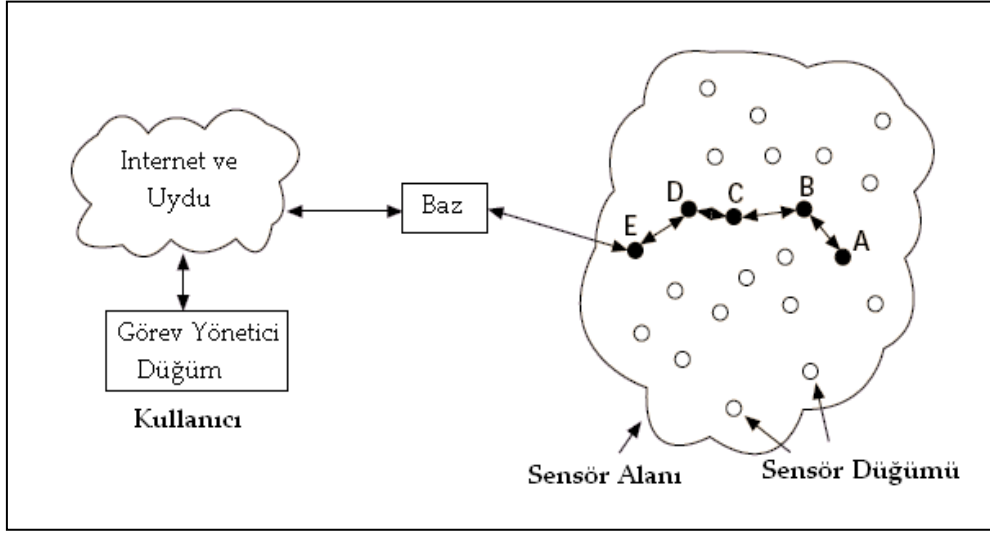
### **3. KAA AĞ KATMANI**

#### **3.1. Giriş**

KAA'larda, algılama alanından algılanan veriler Baz İstasyonu'na iletilmektedir. Baz İstasyonu ise algılanan bu verileri sanal ortama aktarmakta ve kullanmaktadır. Algılayıcı düğümlerin algılama alanından algıladıkları verileri iletmesi için yönlendirme protokolleri kullanılmaktadır. Bu bölümde haberleşme mimarisi, yönlendirme katmanı ve bu katmanda çalışan yönlendirme protokollerinin nasıl yönlendirme yaptığı açıklanmaktadır.

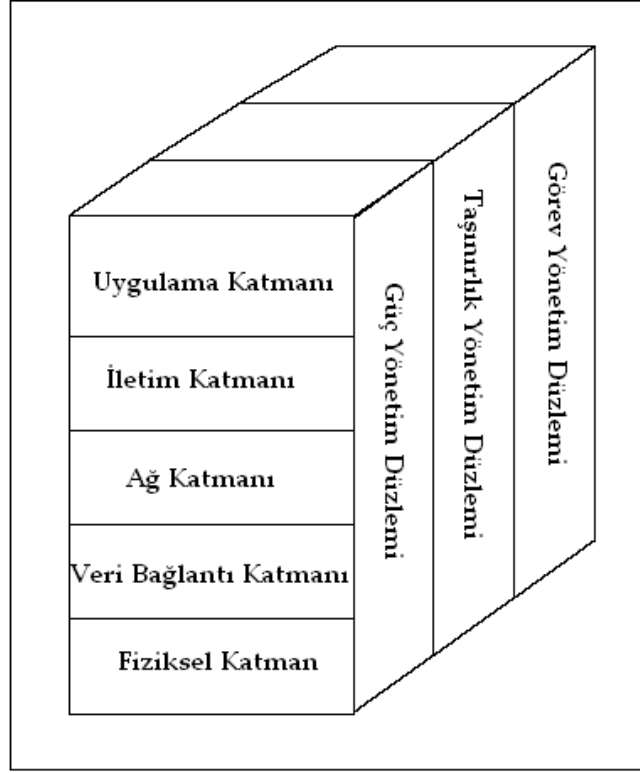
#### **3.2. KAA'larda Haberleşme Mimarisi**

Algılayıcı düğümler genelde Şekil 3.1'de görüldüğü gibi algılama alanına dağıtılmış haldedirler. Bu dağıtılmış düğümlerin her birinin veriyi toplayıp Baz İstasyonu'na iletme yetenekleri vardır. Verinin herhangi bir mimari altyapıya sahip olmadan Baz İstasyonu'na gönderilmesi Şekil 3.1'de sunulmaktadır. Baz İstasyonu ve görev yönetici düğümler (kullanıcı) İnternet ya da uydu aracılığı ile haberleşebilir. Algılayıcı düğümlerin tasarımı birçok etken tarafından etkilenmektedir.



Şekil 3.1. KAA haberleşme mimarisi

Protokol Yığını: Şekil 3.1’de verilen algılayıcı düğüm ve Baz İstasyonu tarafından kullanılan protokol yığını Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu protokol yığını gücü ve yönlendirme bilincini birleştirir, veriyi ağ kurma protokolleriyle entegre eder. Protokol yığını, kablosuz ortam aracılığı ile gücü verimli bir şekilde kullanarak haberleşmeyi sağlar ve algılayıcı düğümlerinin birbirleriyle ortak çalışmalarını daha verimli hale getirir. Protokol yığını Fiziksel Katman, Veri Bağlantı Katmanı, Ağ Katmanı, İletim Katmanı, Uygulama Katmanı, Güç Yönetim Düzlemi, Taşınırılık (Mobility) Yönetim Düzlemi ve Görev Yönetim Düzleminde oluşur. Fiziksel Katman basit fakat dayanıklı kiplerle, iletim ve alım tekniklerini adresler. Ortamın gürültülü ve algılayıcı düğümlerinin hareketli olmasından ötürü, ortam erişim kontrol (MAC) protokolü güç faktörünü göz önünde tutmalı ve komşu düğümlerin yayınları ile çarpışmayı en aza indirebilmelidir.



Şekil 3.2. KAA katmanları

Ağ Katmanı, İletim Katmanı tarafından kendisine sağlanan verinin yönlendirilmesinden sorumludur. İletim Katmanı, KAA uygulamasının gereksinim duyması halinde veri akışının güçlendirilmesine yardım eder. Algılama görevlerine bağlı olarak, farklı tiplerde uygulama yazılımları, uygulama katmanı üzerine kurulup kullanılabilir. Bunlara ek olarak güç, taşınırılık ve görev yönetim düzlemleri algılayıcı düğümler arasındaki gücü, hareketleri ve görev dağılımını izler. Bu düzlemler algılama görevinin koordineli bir şekilde gerçekleştirilmesi için düğümlere yardımcı olur ve toplam güç tüketimini azaltır. Güç yönetim düzlemi bir algılayıcı düğümünün, güç kullanımını yönetir.

Örnek olarak algılayıcı düğümü, komşu düğümden mesaj aldıktan sonra kapatabilir. Bu kopyalanmış mesaj alımını engeller. Aynı zamanda, algılayıcı düğümünün güç seviyesi azaldığında, komşu düğümlere mesaj yönlendirmelerine katılmayacağını bildirir. Geriye kalan güç algılamaya ayrılır. Taşınırılık yönetim düzlemi, algılayıcı düğümlerinin hareketlerini tespit edip kaydeder, böylece kullanıcıya dönüş yolu her



zaman korunmuş olur, ve algılayıcı düğüm komşu düğümlerinin kim olduğunu izleyebilir.

Algılayıcı düğümünün komşu düğümlerini bilmesi sayesinde, düğümler güç ve görev kullanımını dengeleyebilir. Görev yönetim düzlemi, belirli bir bölgedeki algılama görevlerini dengeler ve zamanlamasını yapar. Belirli bir bölgedeki algılayıcı düğümlerinin tamamının aynı anda algılama görevini yerine getirmesi gerekli değildir. Bu doğrultuda güç seviyelerine bağlı olarak bazı düğümler algılama görevini diğer düğümlere göre daha fazla yerine getirirler. Bu yönetim düzlemleri, algılayıcı düğümlerinin etkin bir güç kullanımı ile birlikte çalışmaları, veriyi taşınabilir KAA içerisinde yönlendirebilmeleri ve kaynakları düğümler arasında paylaşabilmeleri için gereklidir.

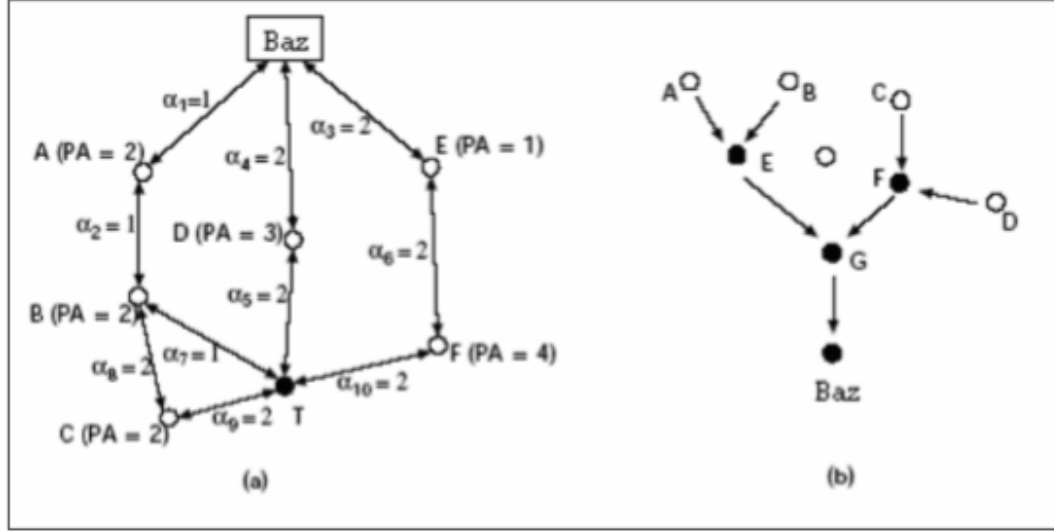
### **3.3. KAA Ağ Katmanı**

Algılayıcı düğümleri Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir alan içerisine ya da yakınına yoğun biçimde dağıtılmışlardır. Bilinen kısıtlamalar yüzünden özel çok-adımlı (multi-hop) kablosuz yönlendirme protokollerine ihtiyaç vardır. Alışılmış ad-hoc yönlendirme teknikleri çoğu zaman KAA’ların gereksinimlerini karşılayamaz. KAA’ların Ağ Katmanı aşağıdaki prensiplere bağlı olarak tasarlanır;

- Gücün verimli kullanımı her zaman önemli bir kısıtlamadır.
- KAA’lar çoğu zaman veri-merkezlidir.
- Veri toplama/çoğullama, sadece algılayıcı düğümlerinin ortak gayretini engellemediği müddetçe kullanışlıdır.
- İdeal bir KAA özellik-temelli adresleme ve konum bilgisine sahiptir.

Ağ Katmanında veri iletimi için yolların seçilmesi önem arz etmektedir. Veriyolu seçiminde kullanılacak bazı alternatifler bulunmaktadır. Etkin bir yönlendirme için enerji açısından verimli yolların seçilmesi gerekir. Enerji bakımından verimli yollar, düğümdeki kullanılabilir güç (PA – Power Available) veya bağlantılardaki yol boyunca iletimin gerçekleştirilmesi için gerekli enerji temel alınarak bulunabilir. PA kullanılabilir güç,  $\alpha$  ise iletim için gerekli enerji diye düşünülmektedir. Şekil 3.3’de

Baz İstasyonu'na veri iletimi yapılabilecek alternatif yollar görülmektedir. Şekil 3.3'de T düğümünde algılan veri Baz İstasyonu'na iletilmek istenmektedir.



Şekil 3.3. Yönlendirmede kullanılabilir olan yollar

Şekil 3.3(a)'da T düğümü eylemi (olgu) algılayan düğümdür. Baz İstasyonu ile haberleşmek için aşağıdaki yolları kullanabilir;

- Yol 1: Baz-A-B-T, toplam PA = 4, toplam  $\alpha = 3$
- Yol 2: Baz -A-B-C-T, toplam PA = 6, toplam  $\alpha = 6$
- Yol 3: Baz -D-T, toplam PA = 3, toplam  $\alpha = 4$
- Yol 4: Baz -E-F-T, toplam PA = 5, toplam  $\alpha = 6$

Enerjinin verimli kullanılmasını sağlayan yolun seçimi aşağıdaki yaklaşımlardan biri ile gerçekleştirilir.

Maksimum PA yolu: PA toplamı en fazla olan yolun seçimidir. Yol boyunca her düğümün sahip olduğu PA değerlerinin toplamı ile hesaplanır. Bu yaklaşım sonucu Şekil 3.3(a)'daki yollardan Yol 2 seçilir. Ancak Yol 2, Yol 1 deki düğümleri ve ayrıca ekstra bir düğüm içerir. Bu yüzden, PA toplamı fazla olmasına rağmen bu yol gücü verimsiz kullanılmaktadır. Sonuç olarak, algılayıcı düğüm ile Baz İstasyonu'nu bağlayabilen uzatılmış yollardan türetilen yolları alternatif yol olarak düşünmemek

gerekir. Maksimum PA şemasını kullanırsak Yol 2 elenir, Yol 4 gücü verimli kullanan yol olarak seçilir.

Minimum Enerji (ME) yolu: Baz İstasyonu ile düğüm arasında minimum enerji tüketerek veri paketlerinin iletimini sağlayan yol ME yoludur. Şekil 3.3(a)'da gösterildiği gibi ME yolu Yol 1'dir.

Minimum adım/hop (MH) yolu: Baz İstasyonu'na ulaşmak için en az adım atan yol MH yoludur. Bu düzende Yol 3, Şekil 3.3(a)'daki yollar içerisinde en verimli yoldur. ME yaklaşımı ile MH yaklaşımının her bağlantı arasında eşit enerji sarf edilmesi halinde (her  $\alpha$  değerinin eşit olması ) aynı yolu seçeceğine dikkat edilmelidir. Bu sebeple, düğümler güç kontrolü olmadan aynı güç seviyesi ile yayın yaparlarsa, MH yaklaşımı ile ME yaklaşımı eşdeğerdir.

Maksimum minimum PA düğüm yolu: Yol boyunca en küçük PA değeri, diğer yolların en küçük PA değerlerinden büyük olan yol seçilir.Şekil 3.3.(a)'daki Yol 3 en etkin yoldur, bunun ardından Yol 1 gelir. Bu yaklaşım ile düşük PA değerine sahip düğümün,yüksek PA değerlerine sahip düğümlere oranla erken bir şekilde işlevsiz hale gelme riskini ortadan kaldırırız.

### **3.4. Sonuç**

KAA'larda 5 katman mevcuttur. Bunlardan Ağ Katmanı, verinin yönlendirilmesinde görev yapmaktadır. Bu katmanda bilgilerin iletilmesi için bazı kurallar ve protokoller vardır. Kullanılan yönlendirme protokolleri enerji duyarlı haberleşme açısından oldukça önemlidir.

## **4. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI**

### **4.1. Giriş**

Yönlendirme protokolleri ağ veri iletimin yapılmasını sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmada yönlendirme protokollerinin incelenmesi ve karşılaştırılması yapılmaktadır. Karşılaştırma yapılacak protokoller günümüzde sıkça kullanılan protokollerdir. Yönlendirme protokolleri arasından her sınıfa tabi tutulan yönlendirme protokollerinin incelenmesi ve aralarında kıyaslanması yapılmaktadır. Öncelikle seçilen bu protokoller açıklanarak çalışma modelleri incelenmektedir. Ayrıca bu protokollerin farklılıkları kıyaslama tabloları ile sunulmaktadır.

KAA yönlendirme protokolleri kendi aralarında değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar dört temel başlıkta açıklanmaktadır: Veri merkezli, hiyerarşik, konum tabanlı ve servis kalitesi tabanlı.

### **4.2. Veri Merkezli KAA Yönlendirme Protokolleri**

Birçok KAA uygulamalarında, alandaki düğümlerin sayısının çokluğundan dolayı her bir düğüm için genel tanımlayıcılar belirlemek mümkün değildir. Algılayıcı düğümlerin rasgele yayılması sürecindeki genel tanımlayıcısızlık, algılayıcı düğümlerden istek yapacak özel bir alıcı seçmeyi zorlaştırır. Bundan dolayı veri, alıcı düğüm ile algılama alanındaki önemli düğümler arasında iletilir. Böylece enerji tüketimi çok verimsiz olur, yönlendirme protokolleri algılayıcı düğümlerden alıcı seçebilmeli ve verinin dikkate alındığı yayılma esnasında veri topluluğunu (yığını) kullanabilmelidir. Bu sebep veri merkezli yönlendirmeye olanak tanır. Geleneksel adres tabanlı yönlendirme ise ağ katmanındaki iletişim yığınlarını yöneten adreslenebilir düğümler arasında oluşturulur.

Veri merkezli yönlendirme protokolünde, Baz İstasyonu güvenli alanlara istekleri gönderir ve seçilmiş alandaki düğümlerden veriyi bekler. Veri yığınlarından istenmeye başlandığında, özellik tabanlı isimlendirme verinin spesifik özellikleri için gereklidir. Veri merkezli yönlendirme protokollerine örnek olarak;

- Flooding
- Directed Diffusion
- Rumor Routing
- SPIN
- Energy-Aware routing
- COUGAR
- MCFA
- GBR
- CADR

yönlendirme protokolleri verilebilir.

#### **4.2.1. Flooding**

Flooding yönlendirme protokolü, KAA yönlendirme protokollerinin temelini oluşturmaktadır. Bu protokolün ana amacı, verinin iletimi olduğu için yönlendirmenin optimum olması düşünülmemektedir. Flooding yönlendirme protokolünde yönlendirme veri algılandıktan sonra başlar. Algılayıcı düğüm, algılanan veriyi komşu düğümlere yayın (broadcast) yolu ile gönderir. Alıcı düğüm, veri ile ilgili bilgileri kaydeder. Daha sonra bu düğüm veriyi, kendisine gönderen düğüm hariç diğer komşu düğümlere iletir. Bu işlemler, veri Baz İstasyonu'na ulaşınca kadar devam etmektedir. Yönlendirme basittir; ancak, bazı önemli dezavantajları bulunmaktadır. Flooding yönlendirme protokolü ayrıntılı olarak Bölüm 5'de anlatılarak modellenmesi ve benzetimi yapılmaktadır.

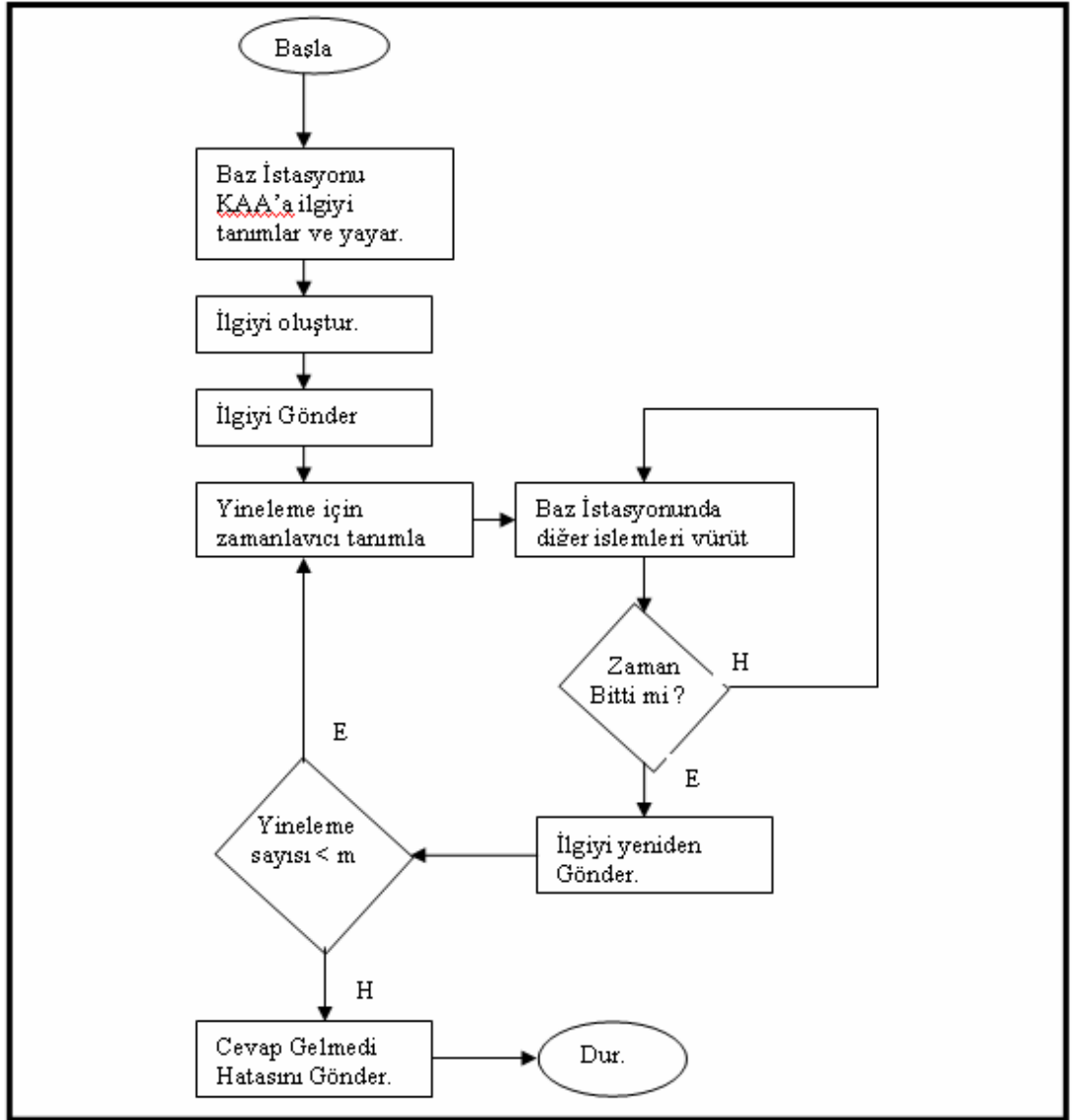
#### **4.2.2. Directed Diffusion**

DD (Doğrudan Yayılma), veri-merkezli yönlendirme temelli bir iletişim protokolüdür (Intanagonwiwat ve diğ, 2000), (Estrin ve diğ, 1999). Veri-merkezli

yönlendirmede, tüm ilgi düğümün konumunda değil veri üzerindedir. Veri-merkezli bir soruya örnek olarak şu verilebilir: “Sıcaklık değeri son yarım saatte 30°C üzerine çıkan düğümler nerededir?”. Bu yüzden, veri-merkezli yönlendirme, birden çok kaynaktan tek bir hedefe giden yolların bulunmasında kullanılır. Bu durum ağ içerisinde birleşime olanak sağlar. DD sorgu-yanıt çalışma modelini kullanır. Şuna benzer bir sorgu(İlgi): “R bölgesindeki hayvan konumları hakkında periyodik raporları her I saniyede bir, T saniye boyunca ver.” herhangi bir düğüme sorulabilir. İlgi şu biçime sahip olabilir; tip: 4 ayaklı hayvan, aralık: 20 ms, süre: 10 dak., alan=[100,100,200,200], alan dikdörtgen olarak tanımlanmıştır. Periyodik olarak, Baz İstasyonu tüm komşu düğümlere “İlgi”yi (interest) belirtilenden daha düşük veri hızı ile yayar. Algılayıcı Alan içerisindeki düğümlere İlgi ulaştığında, her düğüm İlgi’yi saklamak için İlgi önbelleklerine giriş yaparlar. Yapılan İlgi girişlerinin bir zaman damgası (time stamp) ve birkaç yol (gradient) alanı vardır. Yol, gerekli veri hızını ve ilgi duyulan düğümün yönünü belirler. Komşu düğüme bir İlgi ulaştığında, düğüm gelen İlgi’nin önbellekte mevcut olup olmadığına bakar. Eğer gelen İlgi için giriş yoksa, bir giriş yapılır. Belirtilen alan (R) içerisindeki bir düğüm eğer bir olgu algılırsa, ilgilenen tüm düğümlere yanıt gönderir. Baz İstasyonu ilk veri geldikten sonra, yüksek veri hızı ile algılanan İlgi’yi tekrar göndermesi için komşularından birini güçlendirir. Sonrasında, güçlendirme işlemi kaynağa ulaşmaya kadar devam eder. DD, taşma (Flooding) ve çoklu yayımdan (Omniscient multicast) harcanan enerji bakımından daha iyi işlemektedir.

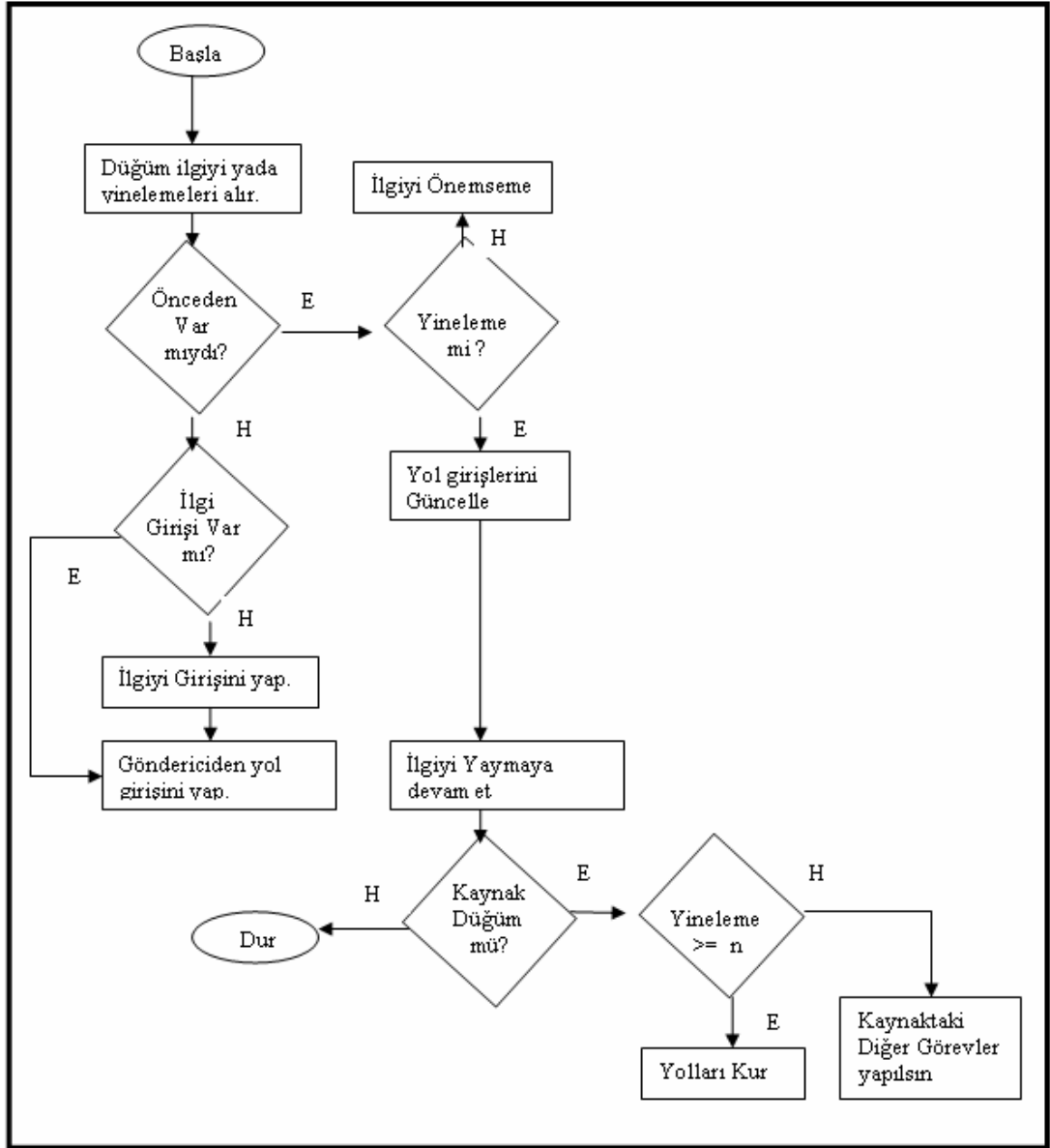
#### **4.2.2.1. Directed Diffusion’da İlgi’nin yayılması**

DD’da Baz İstasyonu’nda İlgi’nin yayılması (interest propagation) algoritması Şekil 4.1’de görülmektedir. Ağdaki bazı verilerin alınması için bir sorgu oluşturulmalıdır. Belirli bilgileri almak için İlgi oluşturulur. Örneğin ortam sıcaklığının tespiti ve Baz İstasyonu’na iletilmesi gibi. Burada İlgi istenilen verilerin önbilgisidir. Öncelikle Baz İstasyonu düşük veri içerikli İlgi’yi ortamdaki bütün komşu düğümlere yayın (broadcast) yaparak gönderir. Bu gönderme işlemi belirli aralıklarla tekrar yapar. İlgi’nin tekrar gönderilmesine yineleme denilmektedir.



Şekil 4.1. DD İlgi'nin yayılması algoritması (Baz İstasyonu için)

İlginin düğümlere gönderilmesi Şekil 4.2'deki algoritmada görülmektedir. İlgi, düğümlere gönderilirken Flooding yöntemi ile gönderilir. Flooding yöntemi ise gelen mesajı gönderen düğüm haricinde diğer komşu düğümlerinin hepsine göndermesi yöntemiyle Şekil 4.3.'deki gibi iletilir. Algılayıcı düğümler komşu düğümlerinin kullanılabilir değerlerini ve dayanıklılık değerlerini gönderilen bilgilerden edinebilirler. İlgi yayılırken Baz İstasyonu'na olan uzaklığı da içerir.



Şekil 4.2. DD İlgi'nin yayılması algoritması (Düğüm için)

#### 4.2.2.2. Directed Diffusion'da yol kurulumu ve güçlendirilmesi

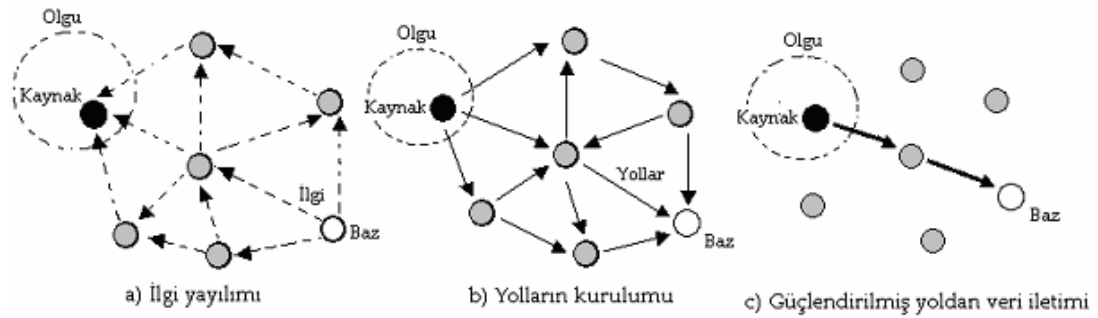
Algılama alanındaki algılayıcı düğüm(ler)e ilk İlgi ulaştığında, İlgi'de tanımlanan görevler için kaynakların kullanımı planlanır. DD algoritması, komşu düğümler hakkında daha fazla bilgi edinmek için aynı İlgi'nin yinelemelerinin gelmesini bekler. Gelen İlgi yinelemelerinde komşu düğümlere ait bilgiler bulunur. Böylelikle Baz İstasyonu'na doğru güvenli yol seçeneklerinin oluşturulmasında kullanılabilir. Yinelemelerin sayısı uygulamaya ve kullanıcının ihtiyaçlarına göre değişiklik gösterebilir.



Kaynak düğüm yeterli bilgiye sahip olduğunda, en uygun düğümler için yol kurulum mesajını gönderir. Güvenli algılayıcı düğümlerin belirlenmesi sağlanmış olur. Her bir komşu düğüm, mesajı gönderene karşı yol değerini güçlendirerek artırır. Yol değeri algılayıcı düğümlerin yol belleklerinde tutulur. Yol kurulum mesajı ağda kaynaktan Baz İstasyonu'na doğru iletilir. Her bir düğüm mesajı iletirken yolu güçlendirir. Böylece yol kurulum mesajı komşu düğümlerinden Baz İstasyonu'na ulaşır. Baz İstasyonu bu mesajı aldığı anda İlgi yinelemelerinin gönderilmesini durdurur. Baz İstasyonu yol kurulum mesajını aldıktan sonra son İlgi mesajını gönderecektir. Son İlgi mesajı kaynağa yüksek yol değeriyle gönderilir. Böylelikle son İlgi mesajı kaynağa gelene kadar yol üzerindeki komşu düğümlerin yol değerlerini artırır ve yol kurulumu tamamlanmış olur (Şekil 4.3. b).

#### 4.2.2.3. Directed Diffusion'da veri gönderimi

Son İlgi kaynak düğümlere ulaştığında, Kaynak düğümler çevresinden algılamış olduğu verileri Baz İstasyonu'na göndermeye başlar. Gönderilen bu veriler kurulmuş olan yollar üzerinden gönderilir. Bu işlem Şekil 4.3'deki c maddesinde görülmektedir.



Şekil 4.3. DD çalışma prensibi

Düşük hızlı veri yolları ve İlgi'nin periyodik olarak yayılması ihtiyacı, ağ yaşam süresini, enerji gereksinimindeki artışa bağlı olarak kısaltmaktadır. Baz İstasyonu'na yakın az sayıda düğümün erken ölmesi beklenir. Bu ise ağın ömrünü kısaltır.

### 4.2.3. Rumor Routing

KAA'lar genellikle binlerce kısıtlı iletim kapasitesi olan algılayıcı düğümlerden oluşur. Enerji ise sınırlı kaynaklıdır. Bundan dolayı eylem ve sorguların ağda yönlendirilmesinde verimli enerji tüketimi öncelikli olmalıdır. Uzun menzilli iletimler çok fazla enerji harcadığından yönlendirme algoritmasında düğümler arasındaki iletim kısa adımlı olmalıdır. Bu kısa adımların sayısının da minimize edilmesi gerekir. Bu probleme çözüm olarak Rumor Routing (RR) geliştirilmiştir (Braginsky ve diğ, 2002).

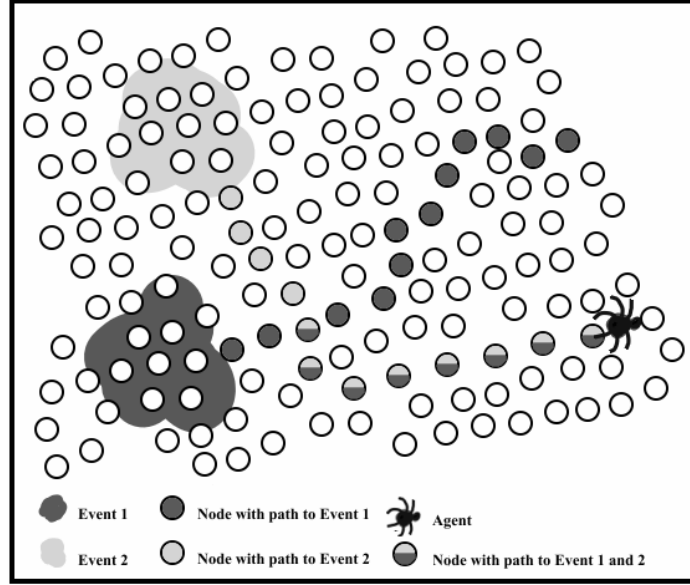
Eylem Yayma (Event Flooding):Düğüm bir eylem sezdiğinde çevresindeki bilgileri yayın (broadcast) yaparak yollar. Komşu düğümlerde bu olayı tekrarlar. Düğümler, sorgu düğümlerinde gözlemlenen eylemlerin bilgisini, eylem, düğümlere geldiğinde saklar. İletim Enerji tüketimi  $\text{Event count} \times \text{Node count}$ 'dır.

Sorgu Yayma (Query Flooding): Sorgu düğümleri sorguyu tüm ağa yayarlar. Enerji tüketimi  $\text{Query count} \times \text{Node count}$ 'dır.

Eylem Yayma ve Sorgu Yayma ile gereksiz iletimden kaynaklanan yüksek enerji tüketimi vardır. Aynı zamanda çok sayıdaki iletimdeki çakışmalardan dolayı mesajların kaybolması RR'e ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. RR algoritması çözüm olarak, ajan mesajlarını eylem gerçekleştiğinde başlıca yolların kurulmasını sağlamak için kullanır. Sorgular ağa rasgele gönderilir ve sonra eylem düğümlerine olan yol üzerinden yönlendirme yapılır. Yönlendirme algoritması en kısa adımları içermektedir. RR'nin asıl amacı, eylemler meydana geldiğinde her bir eylem için başlıca yolların kurulması ve sonra bu yollar üzerinden sorguların yönlendirilmesidir. Sorgular ağa rasgele olarak gönderilirler. Eylemler iletilirken konum bilgisi içermemektedir. Örnek bir sorgu şöyle olabilir: "Kamerası olan bir düğüm bul ve yeterli enerjisi varsa fotoğraf çek".

RR algoritmasının temelinde, her düğüm komşu düğüm listesine ve eylem tablosuna sahip olmalıdır. Komşu düğüm listesi ağ kurulunca üretilmektedir. Eylem tablosunda ise eylem bilgileri tutulmaktadır ve eylemin ne zaman sona ereceği bilgisi de mevcuttur. Bir düğüm bir eylem algıladığında düğümde yol uzaklığı 0 olarak

saklanır. Daha sonra iletilen düğümlerde yol uzaklık bilgisi yenilenerek kaydedilir. Ajanlar eylem algılandığında oluşturulur. Ajanlar çok sayıda adım için ağda dolaşmaya başlarlar. Ajanlar, bir eylem tablosu içerirler ve ziyaret edilen düğümlerin eylem tablolarıyla birleşir.



Şekil 4.4. Rumor Routing'de ajan kullanımı

Ajanlar aynı zamanda eylemlerden hedefe giden yolların birleştirilmesini sağlarlar. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi Eylem 1 (Event 1) ve Eylem (Event 2) için yollar kurulmuştur. Ajan ise Eylem 2'nin yollarını Eylem 1'in yollarıyla birleştirir. Ayrıca uzun olan yolları optimize ederler. Yani iletim için adım sayısını azaltırlar. Bu sayede çok adımlı iletim yerine az adımlı iletim sağlanır. Komşu düğümler kendilerine gönderilmeyen mesajları tesadüfen duyabilirler ancak optimum yol ilgi'lerini kullanmalıdırlar. Bundan dolayı ajanlar tarafından oluşturulan yollar kullanılmalıdır. Ajanlar uzun ömürlü mesajlardır. Ancak TTL (Time-to-Live) içermektedir. Ne zamana kadar ağda dolaşım yapılacağı tanımlanabilir.

RR genellikle aşağıdaki şartların olduğu ağlarda kullanılır;

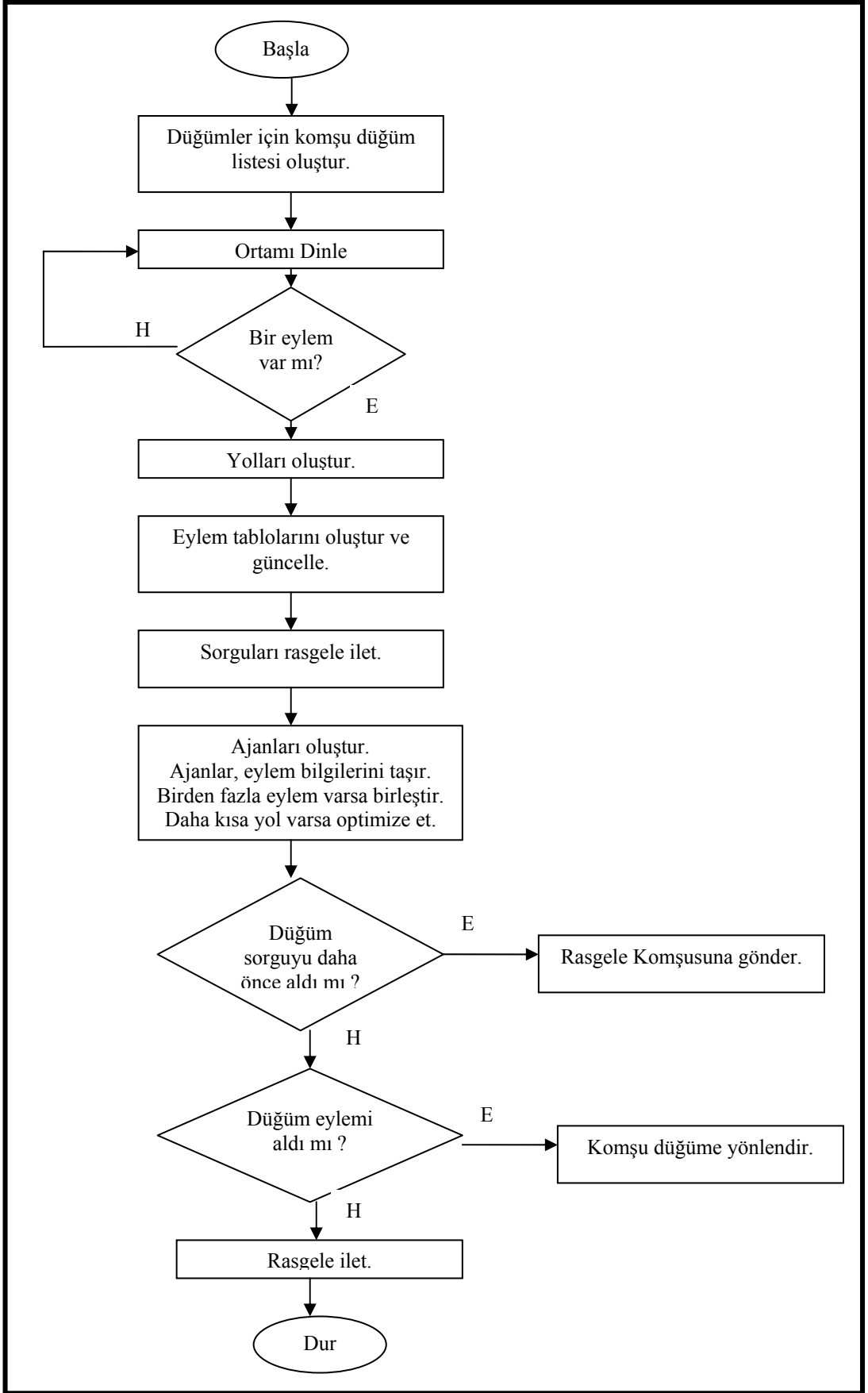
- RR algoritmasının kullanılması, her olay için sorgu sayısı fazlaysa verimli olur. Aksi halde sorgu yayma (Query Flooding) daha etkili olur.
- Eylem başına düşen sorgu sayısı (query/event) da az ise RR algoritması daha verimlidir. Aksi durumda eylem yayma (Event Flooding) daha verimli olabilir.

- En uygun durum, eylem başına düşen sorgu sayısının (query/event) yaklaşık 5-36 arasında olması durumudur. Bu oranda RR çok iyi performans göstermektedir.

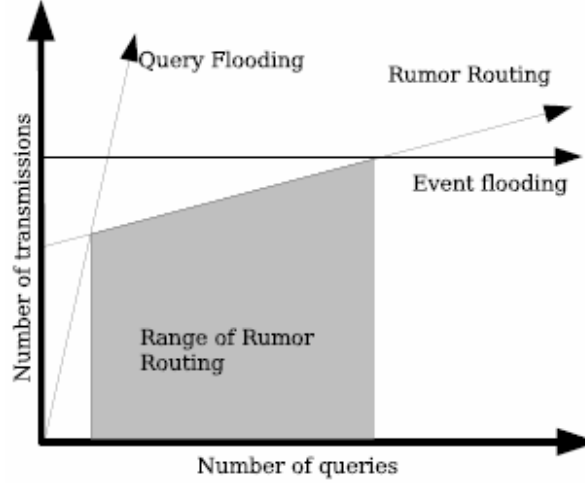
Ayrıca RR,

- Sorgu düğümüne olay akış miktarının az olması durumunda,
- Uygulanabilir koordinat sisteminin olmaması durumunda,
- Düğümlerin benzer iletim fonksiyonlarına sahip olduğu durumlarda (hiyerarşinin olmadığı),
- Her bir düğümün koşulları için kimlik ve uzaklık İlgileri'lerine sahip olduğu durumlarda,

kullanılması daha verimli olacaktır. Aksi halde RR efektif bir algoritma olmayabilir.



Şekil 4.5. Rumor Routing algoritması



Şekil 4.6. Rumor Routing yönlendirme protokollerinin kullanım alanı

RR in avantajları, algoritmanın akort edilebilmesi ve özel eylemler için ağda sorgularının yayılması için konfigürasyon parametrelerinin ayarlanabilmesidir. Dezavantajları ise optimal parametrelerin topolojiye bağlı olması ve iletimin garanti edilmemesidir. RR, eylem sayısının az olduğu zamanlarda verimli çalışır. Kaynak ile Baz İstasyonu arasında yalnızca tek bir yol vardır Çok sayıda ajanın var olması ve büyük eylem tablolarının sürdürülmesi maliyetli olabilmektedir. RR, taşma trafiğinin çok fazla olduğu ve coğrafi bilgilerin kullanılmadığı ağlarda kullanılması verimli olan ve akort edilebilen bir yönlendirme protokolüdür.

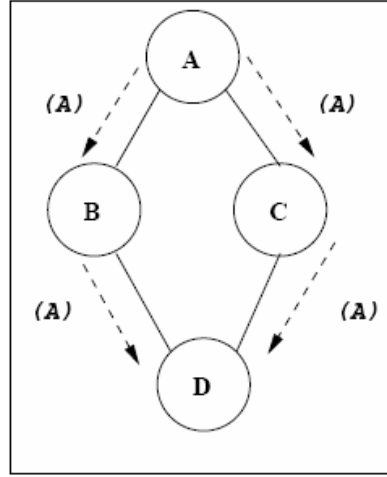
RR'in DD'dan temel farkları şunlardır:

- İlgı yayımı yoktur.
- Özel eylemleri izlemek için sorgu, düğümlere gönderilir.
- Uzun ömürlü paketler, ajanlar, olayların ağa doğru yayılması farklılıkları olarak göze çarpmaktadır.
- Düğüm bir eylemi sezdiğinde, eylemler tablosuna eylemi ekler ve bir ajan üretir.
- Ajanlar lokal eylemler hakkındaki bilgileri yaymak için ağda dolaşırlar.
- Ajanlar TTL (Time-to-Live) içerir.

#### 4.2.4. SPIN

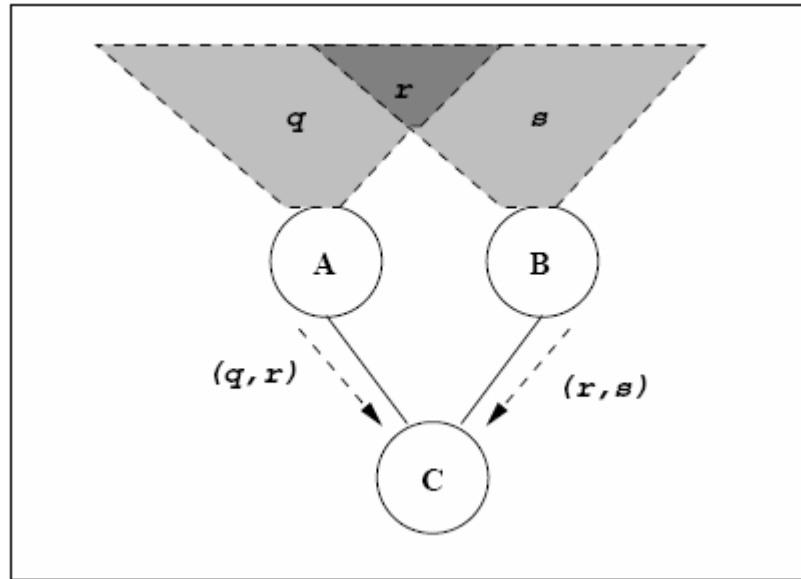
SPIN algoritması, özel algılayıcıların etkili veri yayması için ağdaki tüm algılayıcı düğümleri gözlemlemesi üzerine kurulmuştur (Heinzelman ve diğ, 1999). Tüm düğümler gözlemlenir ve potansiyel Baz düğümler üzerinde anlaşmaya varılır. Bu durumun birden fazla faydası bulunur. Birincisi, bütün ağın görüntüsünün kopya edilmesi sistemdeki hata-toleransını artırmaya yarar. İkincisi, bilginin kritik kısmının tüm düğümlere iletilmesi için bir yol sağlamış olur. SPIN protokolünün geliştirilmesi ile geleneksel yönlendirme protokollerinin kullanımı sınırlanmıştır ve farklı bir etkinlik kazanılması sağlanmıştır. Flooding protokolünde, kaynak düğüm veriyi komşu düğümlerine yollar. Verinin bir kısmının alınması üzerine her düğüm hafızasına kaydeder ve verinin bir kopyasını veriyi gönderen hariç tüm komşu düğümlerine gönderir. Bundan dolayı düz iletim protokolleri ancak band genişliği sınırsız ve bağlantıların kayıpsız olduğu ağlarda veri iletimini hızlı bir şekilde gerçekleştirir. Bu yaklaşımın üç tane problemi vardır.

- Implosion (Çökme): Klasik Flooding algoritmasında düğüm her zaman gelen veriyi komşu düğümlerine gönderir. Ancak komşu düğümün başka kaynaktan aynı veriyi alıp almadığına bakmaz. Bu durum ise çakışma probleminin ortaya çıkmasına neden olur. Şekil 4.7’de A düğümü veriyi göndermeye başlar. Kendi komşuları olan B ve C düğümlerine veriyi gönderir. B ve C düğümleri ise kendilerine gelen veriyi komşuları olan D düğümüne gönderirler. Dolayısıyla D düğümüne aynı verinin birden fazla kopyası ulaşmış olur. Bu durum ise örtüşme olarak adlandırılır.



Şekil 4.7. Implosion problemi

- Overlap (örtüşme): Algılayıcı düğümler aynı alanda konumlandırıldıkları için aynı alan içerisinde ortak algılama noktaları oluşmaktadır. Algılayıcı düğümler aynı coğrafik konumda algıladıkları verinin bir kısmını, komşu düğümlere göndermesiyle çökme problemi ortaya çıkar. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere, A ve B düğümlerinin algıladıkları alanda ortak bir kısım görülmektedir. A ve B düğümleri verinin bir kısmını ortak komşu düğüm olan C düğümüne gereksiz olarak gönderir.



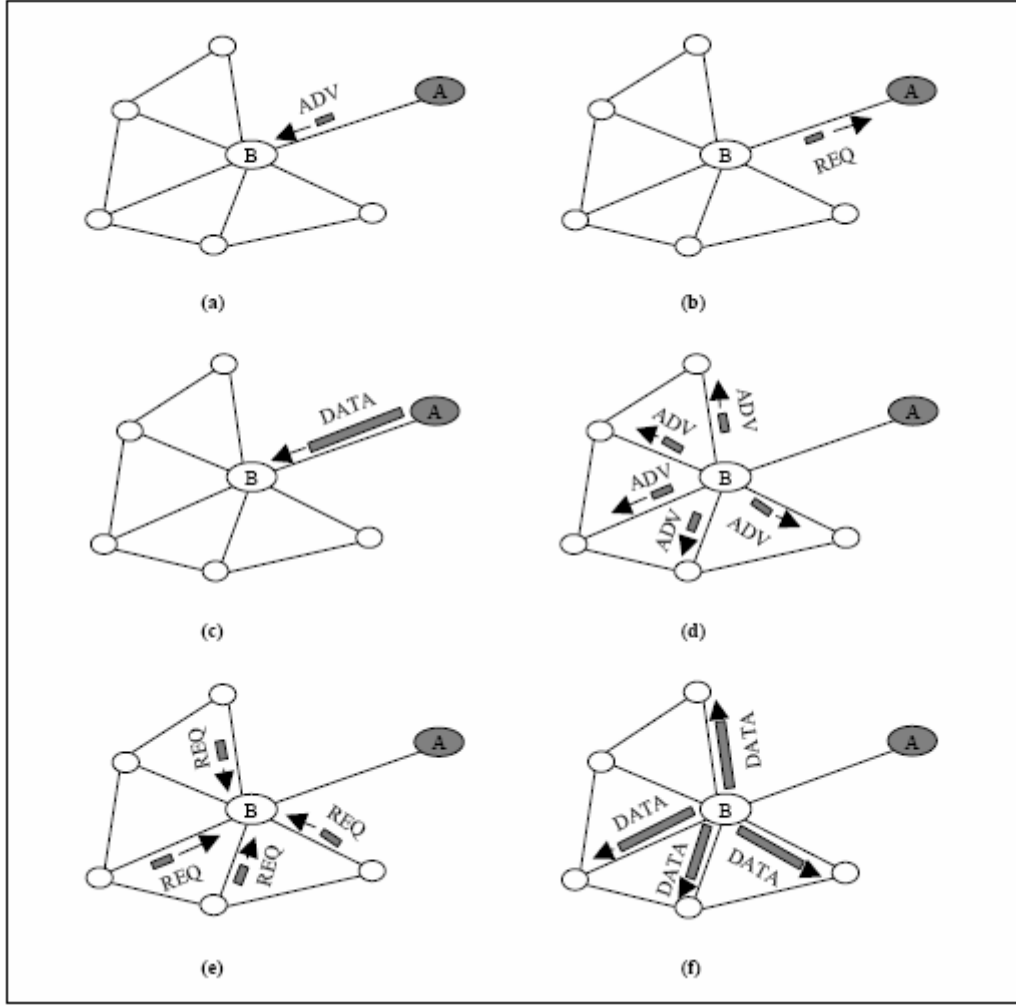
Şekil 4.8. Overlap problemi



- Resource Blindness (Kaynak Bilgisizliği): Klasik Flooding'de, düğümler kendi enerji durumlarını ve komşularının enerji durumlarını bilmezler. Dolayısıyla aktivitelerini kullanılabilir enerjiye göre organize edemezler. Ancak kaynak haberli algılayıcı düğümler, enerji kaynaklarının durumlarına göre iletim ve hesaplama yapabilirler.

SPIN protokolü kaynak adaptasyonu ve görüşme gibi iki önemli kriteri birleştirmeyi başarmıştır. Ayrıca SPIN algoritması yukarıda sayılan problemleri çözmek için hazırlanmış bir algoritmadır. Implosion ve overlap problemlerini çözmek için, SPIN algoritmasındaki düğümler veri göndermeden önce diğer düğümlerle görüşür. Görüşme faydalı bilginin iletilmesine yardımcı olur. Ayrıca başarılı görüşmede düğümler veriyi tanımlar ya da isminin söylenmesini sağlar. SPIN algoritmasında kullanılan tanımlayıcılara meta-data denilmektedir.

SPIN yönlendirme protokolünde, düğümler veri iletiminden önce kaynaklarını ayarlarlar. Her algılayıcı düğüm kaynak yöneticisine sahiptir ve kaynağını aktivitesine göre yönetir. Kullanılabilir enerjisine göre hesaplama ve iletim gerçekleştirir. Eğer yeteri kadar enerjisi yoksa ilettime katılmaz.



Şekil 4.9. SPIN yönlendirme protokolünün çalışma prensibi

Şekil 4.9’da SPIN algoritmasının çalışma mantığı anlatılmıştır. Öncelikle düğüm yeni bir veriye sahip olunca komşu düğümüne veri hakkındaki bilgiyi içeren meta-datayı bir ADV mesajı olarak gönderir. Eğer komşu düğüm veri ile ilgilenirse veri gönderen düğümüne REQ istek mesajını iletir. İstek mesajını alan düğüm gerçek veriyi DATA mesajı ile tekrar gönderir. Bu işlem veri elde eden her düğüm için tekrarlanır.

Eğer bir düğüm yeni veri elde ederse ya da bir ADV mesajı alırsa, yeterli enerjiye sahip değilse protokole katılmayarak iletim yapmaz. Bilindiği üzere klasik Flooding’de düğüm, sahip olduğu veriyi tüm komşularına gönderirdi.

SPIN göçme, örtüşme ve kaynak-bilgisizliği problemlerini çözer. Her düğüm sadece komşuları hakkında bilgiye ihtiyaç duyar bu da hesaplamada az enerji tüketimi ile

sonuçlanır. Bununla birlikte, bizce ağın yaşam süresi performans ölçümünde bir kriter olarak değerlendirilmelidir. Yüksek seviyeli düğümlerin diğer düğümlere oranla daha fazla enerji tüketmeleri ağın toplam yaşam süresinde azaltıcı bir etkiye sahip olabilir. Ayrıca enerji modeli daha karmaşık olabilir.

#### **4.2.5. Energy Aware Routing**

Energy Aware Routing (EAR) yönlendirme protokolü enerji duyarlı bir veri merkezli KAA yönlendirme protokolüdür (Shah, ve diğ., 2002). enerji duyarlı protokolün asıl amacı ağın ömrünü uzatmaktır. DD protokolüne benzemesine rağmen bu protokol tek bir optimum yol kullanmak yerine bir grup yol kullanması ile farklılık gösterir. Bu yollar kesin bir olasılık olarak seçilir ve oluşturulur. Bu olasılığın değeri her yolun enerji tüketiminin ne kadar düşük olabileceğine bağlıdır. Farklı zamanlarda seçilen birden fazla yola sahip olduğundan herhangi bir yolun enerjisi çabucak tükenmeyecektir. Enerji bütün düğümler arasında daha eşit paylaşıldığından daha uzun bir ağ ömrü sağlanır. Ağ sürekliliği bu protokolün temel ölçüsüdür. EAR yönlendirme protokolü, her düğümün yer ve tip bilgilerini de içeren sınıf bazlı bir adresleme sistemini kullanır. Protokol, yönlendirme tablosundaki kaynak ile hedef düğüm arasındaki mesafeyi hesaplayan yönlendirmeleri kullan konum tabanlı taşmaya doğru bir bağlantı başlatır. Uzak mesafeli bağlantılar çöp olarak ayrılır ve yönlendirme tablosu komşu düğümlerin uygun olan mesafeleri ile yapılandırılır. Sonra, hedefe gönderilecek veri, düğüme en uygun maliyetin tersi ihtimali ile yönlendirme tablosu yardımı ile gönderilir. Konum tabanlı taşma, hedef düğümün yolları açık tutması ile gerçekleşir. DD ile karşılaştırıldığında bu protokol genel olarak enerji tasarrufunda %21,5, ağ ömründe ise %44'lük bir artış sağlamaktadır. Fakat bu yenilik yer bilgilerinin toplanmasını ve düğümler için bir adresleme mekanizması geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu da DD ile karşılaştırıldığında iletişim ön hazırlıklarının daha karmaşık olduğunu gösterir.

#### 4.2.6. COUGAR

Veri merkezli KAA yönlendirme protokolü olan COUGAR (Yao ve diğ, 2002), büyük dağıtılmış veritabanı sistemli ağı gösterir. Anahtar fikir, ilişkili algılayıcı düğümlerin seçimi ve iletimin devamı gibi Ağ Katmanı fonksiyonlarının belirlenmesi için belirli soyut sorgular kullanmaktır. COUGAR, ağ içi veri toplanmasında fazla enerji tüketimini engellemek için kullanılır. Soyutlama, Uygulama Katmanı ile Ağ Katmanı arasında yer alan ilave edilmiş Sorgu Katmanı tarafından desteklenir. COUGAR, algılayıcı düğümler arasından seçilen lider düğümün bulunduğu algılayıcı veritabanı sistemini oluşturan bir yapı öngörür. Seçilen lider düğüm Baz İstasyonu'na veri iletimini ve yayımı yapar. Baz İstasyonu sorgu planını üretmekle sorumludur. Sorgu planı, ağ içine sorgu gelmesi ve ilişkili düğümlere gönderilmesi için ağ içinde hesaplama ve veri akışı hakkındaki gerekli özel bilgileri içerir. Sorgu planı aynı zamanda sorgu için bir lider düğümü nasıl seçileceğini tanımlar. COUGAR yönlendirme protokolü, veri üretildiğinde ağ içindeki enerji verimliliğini hesaplama kabiliyetine sahip bir yapı sağlamaktadır. COUGAR, veri sorgusu için bağımsız metotlar içeren bir Ağ Katmanı sunmaktadır. Bununla birlikte, COUGAR'ın bazı dezavantajları vardır. İlk olarak, her bir algılayıcı düğüme eklenen Sorgu Katmanı, aşırı yüksek enerji tüketimine ve gereksiz hafıza kullanımına neden olabilir. İkinci olarak, başarılı ağ içi bilgi hesaplanması elde etmek için, lider düğüme veri gönderilmeden önce düğümler arasında senkronizasyon sağlanmalıdır. Ancak kaynaklardan gelen veriler aynı zamanda düğümlere ulaşmamaktadır. COUGAR yönlendirme protokolünün üçüncü dezavantajı ise, lider düğümlerin kendilerinin hot-spots olmasını engellemesi için dinamikliği sağlamasıdır. Ancak dinamik olması mümkün olmamaktadır.

#### 4.2.7. MCFA

MCFA algoritması, sabit Baz İstasyonu'na karşı yönlendirme tekniğini kullanır (Ye ve diğ, 2001). Bunun için algılayıcı bir düğüm, ne bir ID numarasına ne de bir yönlendirme tablosuna ihtiyaç duyar. Bunun yerine her düğüm kendinden Baz İstasyonu'na hesap ettiği en az yolu kullanır. Algılayıcı düğümden iletilen her bir

mesaj düğümün komşularına yayınlanır. Düğüm mesajı aldığıında, kaynak düğüm ile Baz İstasyonu arasındaki en kısa yol olup olmadığını kontrol eder. Eğer yol en kısa ise, mesajı komşularına yayınlar. Bu işlem mesaj Baz İstasyonu'na ulaşınca kadar devam eder.

MCFA'da her düğüm Baz İstasyonu ile kendi arasındaki en kısa mesafeyi bilmelidir. En kısa mesafenin bilinmesi şu şekildedir. Baz İstasyonu algoritma kurulduğunda her düğümün Baz İstasyonu'na en kısa mesafeyi hesaplaması için bir mesaj yayınlar. Her düğüm, Baz İstasyonu'ndan gelen mesajı alması üzerine, kendine ulaşan en kısa mesafedeki bağlantı olup olmadığını kontrol eder. Eğer durum olumluysa geçerli mesafeyi ve yayınlanan mesajı günceller.

Öncelikli prosedür ise bazı düğümlerdeki çoklu güncelleştirmeleri sonuçlandırmaktadır. Baz İstasyonu'na çok uzak olan düğümler daha kısa yolu bulmak için daha fazla güncelleme yapmalıdır. Bu durum ise gereksiz mesaj yayınlanmasına ve trafiğin yoğun olmasına neden olur. Ayrıca fazladan enerji tüketimi de söz konusudur. Bu durumu engellemek için, MCFA kurulum evresinde backoff algoritmasını çalıştırır. Backoff algoritması, düğümün mesaj güncellediği zamandan “axlc” uzunluğunda zaman geçene kadar güncellenen mesajı göndermemesini dikte eder. Burada a sabit bir sayı lc ise mesaj alıcısı ile arasındaki bağlantı sayısıdır.

#### **4.2.8. GBR**

GBR (Gradient-Based Routing) diye adlandırılan yönlendirme protokolü, DD protokolünün farklı bir şeklidir (Schurgers ve diğ, 2001). GBR yönlendirme protokolünün anahtar fikri, İlgî'nin ağa yayıldığıındaki adımların sayısı hafızasına almaktır. Şöyleki,her bir düğümün Baz İstasyonu'na varması geçen gerekli en az adımların tutulduğu maliyet diye adlandırılan parametreyi hesaplayabilir. Düğümün iletim yolu ile komşusu arasındaki fark bağlantı üzerindeki yolları içermesidir. Düğümün iletim yolunda bağlantılar kurulurken diğer komşusu sadece veri alımında kullanılır. Bağlantı üzerindeki yollarda bulunmayan komşu düğümlerine veri paketleri iletilmez. GBR, ağdaki bölünmüş trafik yoğunluğunu düzene sokmak için,

veri yığını ve trafiğin yayılması gibi bazı yardımcı teknikleri kullanır. Çoklu yollar düğüme doğru kurulduğunda, düğüm veri birleştirme işlemini gerçekleştirir. GBR yönlendirme protokolünde 3 farklı veri yayma tekniğinin vardır.

- Stochastic Scheme (Rasgele Değişkenli Şema): Veri iletimi esnasında iki veya daha fazla adım kurulan aynı bağlantı yol üzerinde ise, düğüm rasgele bir yol seçerek iletim yapar.
- Energy-Based Scheme (Enerji Tabanlı Şema): Düğümlerin veri iletiminde enerji sarfiyatı çok fazla olmaktadır. Eğer düğümün kullanılacak enerjisi eşik değerinde ise kurulan yol üzerinde olsa bile diğer algılayıcı düğümler bu düğüme veri göndermemesi konusunda uyarı mesajı iletirler.
- Stream-Based Scheme (Akım Tabanlı Şema): Başka akım yollarının parçası olan düğümlere, yeni bir akım yönlendirilmez.

Bu veri yayma tekniklerinin asıl amacı, ağdaki iletim ve dağıtım trafiğinin düzenlenmesini sağlamaktır. Böylece ağ yaşam süresi artacaktır. GBR, DD yönlendirme protokolüne göre toplam iletişim enerjisinde daha iyi performans göstermektedir.

#### **4.2.9. CADR**

CADR (Constrained Anisotropic Diffusion Routing), önerilen yönlendirme protokollerinden birisidir (Chu ve diğ, 2002). CADR, DD yönlendirme protokolünün genel bir formunu hedefler. Ana fikir, gecikme süresi ve bant genişliğini minimize ederken, ağdaki düğümlere gönderilen verileri ve algılayıcı düğümlere gönderilen İlgiler'i maksimum seviyede göndermektir. CADR, veri algılayabilecek algılayıcı düğümlerin seçimi için bir takım bilgi ölçütlerini kullanarak İlgiler'i yayar. Bu ölçüt, Belirli bir olayı ve dinamik bir şekilde veri göndermeyi yapabilecek algılayıcıları harekete geçirerek başarılıdır. DD yönlendirme protokolünden, başlıca farkı iletişimin maliyetine eklenen bilgi kazancının önemidir. CADR yönlendirme protokolünde, her düğüm maliyet hedefini değerlendiren bilgi yer alır. Ayrıca düğümler iletimi, yer bilgisi, son kullanıcı ihtiyaçları ve maliyete göre gerçekleştirirler. Hesaplama, yardımcı bilgi ölçümü için kullanılır. IDSQ (Information-Driven Sensor Querying), İlgilerin geldiği düğüm enerji maliyetini hesaplayarak daha avantajlı bilgi

sağlayabildiğini tespit edip belirtir. Ayrıca IDSQ, algılayıcı düğümler ise Baz İstasyonu arasında gönderilen İlgiler ve verilerin nasıl tanımlanacağını bilmemektedir. Bu nedenle IDSQ en uygun tamamlayıcı bir prosedür gibi görülebilir. CADR ve IDSQ yaklaşımlarının, bağımsız yön ve ilk olarak yakın düğümlerde algılamalar yapıldığı zamanlarda, enerji verimliliği açısından DD yönlendirme protokolüne nispeten daha iyi oldukları belirtilmektedir.

### **4.3. Hiyerarşik KAA Yönlendirme Protokolleri**

Diğer iletişim ağlarına benzer şekilde, hiyerarşi KAA'ların özelliklerinin dizaynında önemlilerden biridir. Tek aşamalı ağ, algılayıcı yığınındaki artışla oluşan aşırı yüklenmede bir geçit yoluna meydan verebilir. Böylece aşırı yüklenme, iletişimde gecikmeye ve olguların yörüngesinde yetersizliğe neden olur. Ek olarak, tek geçit yolu yapısı; algılayıcıların iletişim yükünün duyarlı olmamasından geniş alandaki kapalı alıcı algılayıcıları hiyerarsikleştiremez. Sistem ilave yüklemeye uğraşmaya izin verir ve servisi küçültmeksizin büyük İlg alanını koruma altına alabilir. Ağ kümeleme bazı yönlendirme yaklaşımlarında izlenir.

Hiyerarşik yönlendirmenin asıl hedefi, algılayıcı düğümlerin özel bir yığın içinde çok adımlı iletişim sağlamasında tüketim enerjilerini verimli şekilde sürdürmesidir, ayrıca Baz İstasyonu'na gönderilen mesajların sayısının azalmasını düzenlemeyle birleştirme ve veri kümesini yapmaktır. Kümeleme formatı karakteristik şekilde algılayıcının enerji rezervine ve algılayıcının küme başına yakınlığıyla orantılıdır. LEACH, KAA'larda hiyerarşik yönlendirme yaklaşımlarında ilklerden bir tanesidir. LEACH'deki önerilen fikir, birçok hiyerarşik protokoller için bir fikir oluşturmuştur, ama bazı protokoller bağımsız geliştirilmiştir. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerine örnek verilebilecek protokoller:

- LEACH
- PEGASIS
- TEEN and APTEEN
- TTDD
- HPAR

yönlendirme protokolleri verilebilir. Bu sınıfa tabi olan KAA yönlendirme protokolleri ayrıntılı incelenmektedir.

### 4.3.1. LEACH

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) algoritması enerji-duyarlı değildir ve sürekli-çalışma modelini varsayar (Heinzelman ve diğ., 2002). Diğer birçok yönlendirme protokolünden farklı olarak, LEACH adım adım (hop-by-hop) yönlendirme izlemez. Bir lineer ağda, LEACH protokolünü geliştirenler 4.1 nolu eşitsizlik sağlanırsa ; doğrudan haberleşmenin, adım adım haberleşmeden daha az enerjiye gerek duyduğunu savunmaktadırlar.

$$E_{elec} / \epsilon_{amp} > r^2 n / 2 \quad 4.1$$

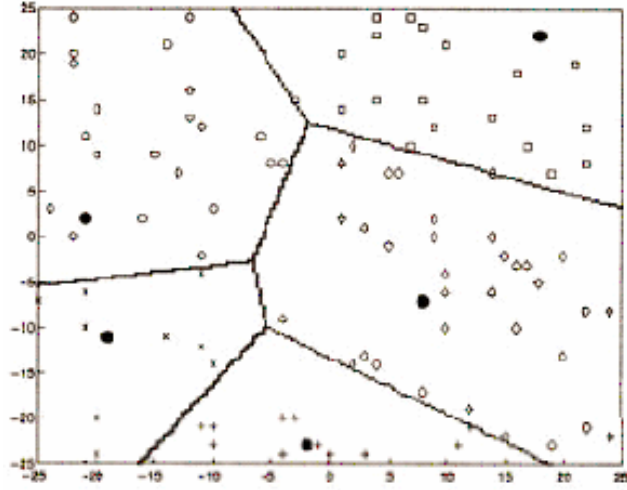
Bu eşitsizlikte  $n$ :düğüm sayısı,  $r$  :düğümler arası mesafe,  $E_{elec}$ : alıcı ya da verici devreyi çalıştırmak için gerekli enerji ve  $\epsilon_{amp}$  ise amplifikatör tarafından kullanılan enerjidir.

LEACH protokolünde zaman aralığı sabit uzunluklu eşit devrelere (round) bölünmüştür. Devrenin uzunluğu ağ için özel parametreler ile önceden belirlenir. Bir devre iki evre içerir : kurulum evresi ve kararlı-durum evresi.

Kurulum evresi boyunca, kümelerin sayısı(yaklaşık olarak her devrede aynıdır) dinamik olarak biçimlendirilir. Her kümede bir küme başı seçilir. Küme başı kümesi içerisindeki düğümleri bir TDMA içerisinde programlar.

Kararlı-durum evresi boyunca, küme başları veri paketlerini, düğümlerinden doğrudaniletişimilealırılar.Ardındankümebaşlarıaldıklarıverileribirleştirip,baz istasyonlarına doğrudan iletişim ile yollarlar.





Şekil 4.10. LEACH KAA yönlendirme protokolünde dinamik kümeleme

Şekil 4.10'da kümelerin dinamik düzenini gösterir. LEACH geliştiricileri, simülasyon sonuçlarını incelendiğinde, her devre içerisindeki düğümlerin %5'lik bölümü küme başı ise, enerji tüketiminin azaldığını fark etmişlerdir. LEACH doğrudan iletim ile karşılaştırıldığında, 8 in çarpanı kadar bir iyileştirme sağlamıştır. LEACH verimli ve kendi kendini organize eden bir algoritmadır. Fakat bazı problemlere sahiptir.

1 Mbps'lik bir band genişliği varsayarken, LEACH geliştiricileri  $E_{elec}$  için 50 nJ/bite  $\epsilon_{amp}$  için 100pJ/bit/m<sup>2</sup> değerlerini kullanmışlardır. Bu yüzden (1) nolu denklem  $r^2n < 1000$  şeklinde azaltılmalıdır. Eğer  $3m < r < 9m$  ise ;  $12 < n < 111$  sonucunu elde ederiz. Bu yüzden, verilen parametreler için n en iyi halde 111 i aşmamalıdır. 111 düğümden fazla düğüme sahip ağlarda, KAA'lar tipik olarak yüzlerce algılayıcı düğüme sahip olduğu için doğrudan iletişim, adım adım yönlendirmeye tercih edilmemelidir. Problemlerden ikincisi ise; Baz İstasyonu'nun algılanan veriyi alırken yaşanan gecikme süresinin uzunluğudur. KAA büyüdükçe, gecikme zamanı artacaktır. Sonuç olarak, kümelerin sayısı her devre için sabit olmayabilir. Her devrede, n düğümü 0 ile 1 arasında rasgele bir k sayısı seçer.

### 4.3.2. PEGASIS

PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems) KAA yönlendirme protokolü, her devrede Baz İstasyonu'na sadece bir düğümün iletim yapmasına ve düğümlerin sadece yakın komşularıyla iletişim kurmasına izin verir (Lindsey ve diğ, 2001). Çalışma modeli ve radyo modeli bakımından LEACH ile PEGASIS arasında fark yoktur. PEGASIS iki kavram üzerine odaklanmıştır; zincirleme ve veri birleşimi. Zincir oluşturmak için, düğümler Baz İstasyonu'ndan en uzaktaki düğümden başlayarak greedy (açgözlü) algoritmasını kullanırlar. Her devrede, rasgele bir düğüm lider olarak seçilir. Lider düğüm zincirin sonundan veri iletimini başlatmak için bir kontrol işaretini başlatır. Her düğüm komşusundan aldığı veri paketini kendi paketi ile birleştirir ve eşit uzunlukta tek bir paket üretir, sonra bu paketi diğer komşusuna iletir. Bu işlem tüm algılanan veri tek paket haline gelinceye ve lider düğümden toplanıncaya kadar devam eder, lider düğüm veri paketini Baz İstasyonu'na doğrudan iletişim ile iletir. Eğer düğümler sadece komşu düğümler ile haberleşebiliyorlarsa, lider düğüm Baz İstasyonu'na çok-adımlı yönlendirme başlatabilir. PEGASIS düğümlerin, diğer tüm düğümler hakkında konum bilgisine sahip olduğunu varsayar. PEGASIS'in LEACH'e göre enerjiye bağlı olarak %100'den %300'e kadar daha iyi çalıştığını bilinmektedir. PEGASIS algoritmasındaki ana problem uzun gecikme süresidir, yaklaşık  $O(N)$ 'dir,  $N$  düğüm sayısıdır. Bu problemin çözümü için çok-seviyeli zincirleme kullanılabilir. Ayrıca, her düğüm ağdaki tüm düğümlerin konum bilgisine sahip olmalıdır. Bununla beraber, belki de bir düğüm kendisine en yakın komşusunu bulmak için ekstra enerji harcayacaktır. Son olarak algılanan verinin kalitesi yeterince iyi olmayabilir.

### 4.3.3. TEEN & APTEEN

TEEN & APTEEN yönlendirme protokolleri hiyerarşik KAA yönlendirme protokolleridir (Manjeshwar ve diğ, 2002), (Manjeshwar ve diğ, 2001). Bu protokoller önemli zaman uygulamaları için önerildiler. TEEN yönlendirme protokolünde algılayıcı düğümler algılama yaparlar ancak bilgi iletmeye daha az sıklıkta yapılırlar. Küme başı, verici ve iletilen düğümleri harekete geçirecek özelliklerin

eşik değerini kümedeki algılayıcı düğümlere gönderir. Eşik değeri algılayıcı düğümlerin iletim yapması için gerekli şartların oluştuğunu ve iletim yapması gerektiğini bildiren bir değerdir. Bu durum iletimin sınırlandırılmasını sağlayacaktır. Böylece veri iletimi küme başı tarafından kontrol edilmiş olur. Eşik değeri, anlaşılmalı özelliklerde az değişiklik varken ya da hiç yokken meydana gelebilen gönderimlerin sayısını daha da azaltır. Eşik değeri'nin daha küçük değeri artırılmış enerji tüketiminin masrafındaki ağların görünümünü daha net verir. Böylece kullanıcı enerji verimliliği ve bilgi kesinliği arasındaki alışverişi kontrol edebilir. Küme başları değiştirmek zorunda olduğunda, parametreler için yeni değerler yayınlanır. Bu yönlendirme protokollerinin temel sakıncası; eğer eşik değeri'ne ulaşılmazsa düğümlerle asla iletişim kuramaması ve kullanıcının artık ağdan hiçbir bilgi alamamasıdır. Düğümler sadece takip edilen şartlar doğru olduğunda şu anki küme periyodundaki bilgileri göndereceklerdir. TEEN & APTEEN yönlendirme protokollerinin önemli özellikleri önemli zaman başvuruları için uygunludur. Ayrıca mesaj iletimi, bilgi algılanmasından daha fazla enerji harcadığından bu programdaki enerji tüketimi aktif olan ağlardan daha azdır. Eşik değeri değiştirilebilir. Her küme değişimi zamanında yeni bir parametre yayınlanır ve böylece kullanıcı gerektiğinde onları değiştirebilir.

#### **4.3.4. TTDD**

İki kademeli bilgi aktarımı adı verilen TTDD yönlendirme protokolü (Ye ve diğ., 2002), birden fazla Baz İstasyonu'na bilgi aktarımına imkan vermektedir. İki kademeli bilgi aktarımında her bir bilgi kaynağı algılayıcı düğümlerin sabit ve bölgeye duyarlı olduğunu kabul ederek mobil havuzlara bilgi aktarmak için kullanmak üzere bir ağ oluşturur. İki kademeli bilgi aktarımında algılayıcı düğümler sabit ve duyarlıdır. Halbuki algılayıcı alanlar konumlarını dinamik bir şekilde değiştirebilirler. Bir eylem ortaya çıktığında, olayın civarındaki algılayıcılar sinyal işleminden geçirirler ve bu algılayıcılardan biri bilgi raporu hazırlamak için kaynak görevi üstlenir. Algılayıcı düğümler sık sık değişmeyecek olan bu görevlerinin farkındadırlar. Ağ oluşturmak için, bilgi kaynağı kendisini ağ başlangıç noktası kabul eder ve kendine bağlı dört kesişim noktasına en yakın düğüme vardığında duracaktır. Bu işlem sırasında, her ara düğüm kendine gelen kaynak bilgiyi depolar

ve kendine bağılı diğer kesişim noktalarının hepsine aynı bilgiyi yönlendirir, sadece bilgiyi gönderen kesişim noktasına yönlendirmez. Bu işlem, mesaj ağın en ucundaki noktalara ulaşmaya kadar devam eder. Kaynak bilgiyi depo eden düğümler dağıtım noktası olarak seçilirler. Bu işlemden sonra ağ iletim kanalları tamamen kurulmuş olur. Baz İstasyonu, bilgi toplamak için yerel düğümlerdeki en yakın dağıtım noktasına yönlendirilecek birçok sorguyu ağ iletim kanallarını kullanarak oluşturulabilir. Daha sonra bu sorgu bir sonraki dağıtım noktalarına doğru yönlendirilir ve bilgi kaynağına ulaşır. Gerekli bilgi aynı yolu takip ederek havuza geri gelir. Aynı yoldan bilginin yönlendirilmesi işi Baz İstasyonu'nun algılama alanında dolaşması gibi kullanılır. TTDD uygun bir rota yöntemi olmasına rağmen, ağ iletim kanallarını oluşturmak için gerekli olan bölge bilgisinin bu matematiksel işlemler tarafından nasıl verileceği konusunda hala bazı tereddütler vardır. TTDD'nin kullandığı yönlendirme yolunun genişliği, en kısa yol genişliğinden fazladır. TTDD'nin yazarları, yolun uzun olmasının ortaya çıkardığı olumsuzlukların, yolun uzun olmasından kaynaklanan kazançlara değeceğine inanmaktadır. Sonuç olarak, TTDD'nin mobil algılayıcı düğümlerin ağ içinde dolaşmasına izin verildiğinde nasıl bir performans göstereceği hala cevapsız bir sorudur. TTDD ve DD karşılaştırma sonuçlarında, TTDD'nin daha uzun ömürlü olacağını ve bilgi teslimatında gecikmelere neden olacağını göstermiştir. Yine de yukarıda ağ topolojisi değiştiğinde ağın yapılandırılması ve tekrar hesap edilmesi biraz yüksek olabilir. Dahası da, TTDD'nin kabul ettiği daha doğru konum belirmenin mümkün olabileceğidir ancak bu henüz kablosuz algılayıcı ağlarda mümkün değildir.

#### **4.3.5. HPAR**

HPAR (Hierarchical Power-Aware Routing), yönlendirme protokolü bir hiyerarşik KAA yönlendirme protokolüdür (Li ve diğ, 2001). HPAR yönlendirme protokolü, ağı algılayıcı düğüm gruplarına böler. Aynı coğrafi konumdaki algılayıcı düğümler beraber kümelenir. Her bir küme ise varlık olarak kabul edilir. Yönlendirmeyi gerçekleştirmek için her bir kümeye diğer kümeye veri mesajını nasıl yönlendireceğine karar vermesine izin verilir. Böylece sistemdeki düğümlerin güç ömürleri maksimize edilir. Veri iletimi max-min diye adlandırılan, en az enerjiyi

gerektiren en fazla veri iletimine sahip yol üzerinden gerçekleştirilir. HPAR, düğümlerin en az enerji gerektiren yolu kullanması ile kalan yüksek miktardaki enerjisi ile daha fazla veri iletimi yapılmasını amaçlamaktadır. Böylece, algoritma güç tüketimini azaltarak max-min yollarını çoğaltmaya çalışır. Ayrıca max-min zPmin diye adlandırılan bir tahmin algoritması vardır. Algoritma, toplam enerji tüketiminin en azlığı ile ağda kalan minimum güç ile en çok veri iletimin gerçekleşmesi arasındaki tercihe dayanan bir algoritmadır. Böylece, algoritma güç tüketimini sınırlandırarak max-min yolunu yükseltmeye çalışır. Bunun için algoritma ilk olarak, Dijkstra algoritmasını kullanarak en az enerji tüketimi gerektiren yolu (Pmin) tespit eder. Daha sonra, ağda kalan en az enerji ile maksimum iletim yapılabilecek yolu tespit eder. Algoritma her iki çözüm kriterini de optimize etmeye çalışır. Bu durum, veri mesajı için minimum enerji tüketimi  $z \geq 1$  parametresi ile zPmin değerine eşit olduğu zaman başarılı olunur. Algoritma, minimum kalan güç ile en çok iletimi gerçekleştirirken, zPmin kadar enerjiyi çokça tüketir. HPAR yönlendirme protokolü, yerel ve genel yol seçimleri için küme diyagramlarını kullanarak gerçekleştirmektedir.

#### **4.4. Konum Tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri**

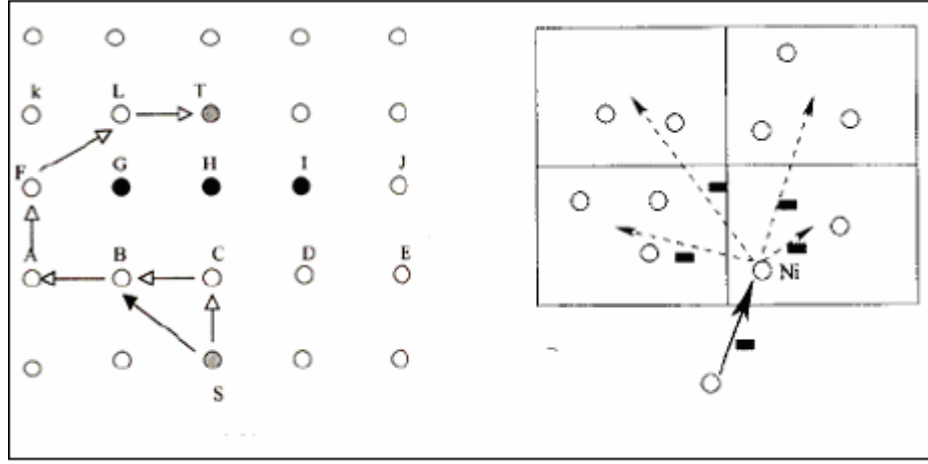
KAA'lardaki yönlendirme protokollerinin çoğu algılayıcı düğümler için yer bilgisine ihtiyaç duyar. Bir çok durumda yer bilgisi, iki özel düğüm arasındaki mesafeyi hesaplamak için gereklidir ki enerji tüketimi tahmin edilebilsin. Madem KAA'lar için IP adreslerine benzer adresleme şeması yok ve alanda uzaysal yayınlanırlar, konum bilgisi veri yönlendirmede verimli enerji yolu için kullanılabilir. Örneğin, Baz İstasyonu algılayıcı düğümlerin kullanım konumlarının bilgisini algılayabilirse, sorgu önemli iletimlerin sayısını elemek için sadece özel alana yayınlanabilir. Konum tabanlı yönlendirme protokolleri az hareketliliğin olduğu ya da hareketliliğin olmadığı KAA'larda gayet iyi uygulanabilir. Bu protokollerin çoğu, enerji-haberli olmadıkça KAA'lar için uygulanabilir değildirler. Örnek olarak;

- GEAR
- GAF
- MFR, DIR, GEDIR

yönlendirme protokolleri verilebilir. Bu sınıfa tabi olan KAA yönlendirme protokolleri ayrıntılı incelenmektedir.

#### 4.4.1. GEAR

GEAR (Geographical and Energy-Aware Routing) algoritması sorgu-yanıt modelini kullanır (Yu ve Diğ, 2001). GEAR yönlendirme protokolü her düğümün, kendi konumunu, enerji seviyesini, komşularının konumları ve enerji seviyelerini bildiğini varsayar. GEAR yönlendirme protokolü iki evreden oluşur. İlk evrede sorgu, enerji-duyarlı ve coğrafi bilgiye sahip komşu seçme yöntemlerini kullanılarak R bölgesine gönderilir. İkinci evrede, özyineli coğrafi iletim (Recursive Geographic Forwarding) veya kısıtlanmış taşma (Restricted Flooding) R bölgesine paketi yaymak için kullanılır. Genel olarak, her N düğümü kendi R bölgesi için gerekli maliyet bilgisini  $h(N,R)$  bilir. Maliyet bilgisi nadiren komşularından güncellenir. Ayrıca algılayıcı düğüm, komşusunun ( $N_i$ ) gerekli maliyet bilgisine  $h(N_i, R)$  sahiptir. Eğer bir düğüm  $h(N_i,R)$  değerine sahip değilse,  $h(N_i,R)$  için tahmini bir maliyet:  $c(N_i,R)$  hesaplar, bu varsayılan değer olacaktır. Şu şekilde hesaplanır:  $c(N_i, R) = \alpha d(N_i, R) + (1-\alpha)e(N_i)$ ,  $\alpha$  ayarlanabilen ağırlıktır,  $d(N_i,R)$   $N_i$ 'nin R alanının merkezi olan D noktasına olan uzaklığıdır, bu uzaklık N'nin tüm komşuları arasındaki en büyük uzaklık (D'ye olan) değerlerinin normalleştirilmesi ile elde edilir.  $e(N_i)$  ise  $N_i$  düğümündeki en büyük enerji tüketimidir, bu değer de N düğümünün komşuları arasındaki en büyük enerji tüketiminin normalleştirilmesi ile elde edilir. Bir düğüm sonraki adım için düğüm ( $N_{min}$ ) seçtikten sonra, kendi  $h(N, R)$  değerini,  $h(N_{min}, R) + C(N, N_{min})$  olarak belirler, ikinci terim N düğümünden  $N_{min}$  düğümüne paket iletiminin maliyetidir. Sorgu paketi R bölgesine girdiği anda, Özyineli Coğrafi İletim yaklaşımı paketin yayılması için kullanılır.



Şekil 4.11. GEAR yönlendirme protokolünün çalışma yapısı

Şekil 4.11, GEAR algoritmasının çalışma şeklini göstermektedir. İncelemeler sonucunda, tekdüze olmayan trafik (non-uniform) için, GEAR algoritması GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) algoritmasından %70-80, tekdüze trafikten %25-35 daha fazla paket bıraktığını göstermiştir.

#### 4.4.2. GAF

GAF, enerji-duyarlı ve konum tabanlı KAA yönlendirme protokolüdür (Xu ve diğ, 2001), (Subramanian ve diğ, 2000), (Rodoplu ve diğ, 1999). İlk olarak hareketli ağlar için dizayn edilmiştir ancak kablosuz algılayıcı ağlar içinde uygulanabilir. Ağ bölgesi ilk olarak karışık boyutlara ayrılır ve fiili bir ağ halini alır. Her bir boyutta yolları üstlenmek için döğümler birbirleriyle iş birliği yaparlar. Örneğin döğümler kesin bir zaman periyodunda açık kalırlar (uyanık kalırlar) daha sonra kapanırlar. Bu döğüm Baz İstasyonu adına, döğümlere ait bilgiyi görüntülemek ve rapor etmekle sorumludur. Bu yüzden GAF yönlendirme protokolü doğruluğunun seviyesini etkilemeden ağdaki enerjiyi gereksiz döğümlerin israf etmesinden korur. Her bir döğüm, ağ içinde kendisini bir noktada birleştirmek için kendi GPS gösterimli bölgesini kullanır. Paket yönlendirme değerinin şartları eşit oranda dikkate alınır ve döğümler ağda aynı noktada buluşurlar.

Böyle bir eşitlik kuralları dahilinde enerjiyi korumak için uyku durumundaki ağ bölgesinde konumlanmış bazı döğümleri tutarak işletir. Nitekim GAF döğümlerin

sayısı arttıkça ağın yaşam süresini mühim bir şekilde arttırır. GAF da üç durum açıklanmıştır. Bu durumlar keşiftir. Ağda komşular hakkında karar vermek için radyo kapandığında yönlendirme aktiftir. Taşınırılığı kullanmanın kurallarına göre, ağdaki her bir düğüm, ağdan ayrılma süresini tahmin eder ve bunu komşularına gönderir. Uyuyan komşular uyku sürelerini düzeltirler. Yönlendirme doğrulama kuralları gereğince, aktif düğümün ayrılma süresi bitmeden önce uyuyan düğümler uyanır ve bir tanesi aktifleşir. GAF düğümlerin hem hareketliliği hem de hareketsizliği için yapılandırılmıştır. GAF için algılama alanı eşit ve kare seçilmiştir. Kare boyutunun seçimi gerekli güç aktarımı ve iletişim yönüne bağlıdır. Yatay ve dikey bir iletişim, sinyal  $r^5$  mesafesinde yolculuk ettiğinde garanti edilmiştir. Böyle herhangi iki alıcı düğümü seçildiğinde yatay ve dikey demetler doğrudan haberleşebilirler. Droganal iletişim için sinyal,  $ber^2p^2$  mesafesini kat etmelidir. Düğümler kümeler gibi toplanırlar. Bir küme başı, bilgi toplamaya başlamak için kendi denetimindeki diğer algılayıcı düğümlerden verileri almaktadır. Bu verileri Baz İstasyonu'na yönlendirmekten sorumludur. Alıcı düğümlerin GPS kartlarını kullanarak bölgelerini bilebilmektedirler. GAF kendi ağındaki her bir bölge için her zaman bir temsilci düğümü aktif tutarak ağı bağlı tutmak için çabalar. Simülasyon sonuçları GAF'ın en azından gizlilik kurallarıyla normal bir ad-hoc yönlendirme protokolü kadar iyi çalıştığını ve ağın ömrünü arttırdığı gösterilmektedir.

#### **4.4.3. MFR, DIR, GEDIR**

MFR (Most Forward within Radius), DIR (DIrection Routing), GEDIR (GEographic DIstance Routing) yönlendirme protokolleri temel mesafe, ilerleme ve yön temelli metotları kullanırlar (Stojmenovic ve diğ, 1999). Anahtar fikirler ise iletme yönü ve geri bildirim yönleridir. Kaynak düğüm veya orta seviyedeki düğümlerden biri belli bir kritere göre komşu düğümleri içinden en uygunun birisini seçer. Yönlendirme metotlarından MFR, veriyi belirli bir yarıçap çevresindeki düğümlere göndermesiyle yönlendirme sağlar. GEDIR algoritması ise açgözlü algoritmasının farklı bir biçimidir. GEDIR iki fazla adımı isteyen bir algoritmadır. DIR, yönlendirme protokolün de ise yön söz konusudur. GEDIR yönlendirme protokolünde, ver paketleri her zaman hedef düğümlerle olan mesafenin minimize edildiği komşu düğüme gönderilir. Ancak GEDIR algoritması, veri paketinin arka arkaya aynı tarafa iki kere



gönderildiğinde başarısız olur. Genel olarak MFR ve GEDIR yönlendirme protokolleri hedefe veri gönderiminde aynı yolları kullanırlar. DIR yönlendirme metodunda en iyi komşu hedefe gidecek en uygun yöndeki komşudur. En uygun yön ise, verinin çıkış yeri olan düğümden kaynağa olan minimum açısızlık seçilerek tespit edilir. MFR yönlendirme protokolünde en iyi komşu düğüm, hedef düğüm ile kaynak düğüm arasındaki en uygun düğüm olması ile sağlanır. En iyi komşunun seçilmesi gönderilen verilerin, düğümlerden tekrar geri gelmesini önlemektir. Eğer iletilen veri paketi hedefe giderken düğüme tekrar gelmiyorsa iyi bir seçim yapıldığı öngörülebilir. MFR ve GEDIR yönlendirme protokollerinde döngülerin oluşturulmaz. Ancak DIR yönlendirme protokolü ise, geçmiş trafik durumunu kaydetmedikçe ve bir zaman aralığı yürütüldükçe döngüler oluşturur. Bu üç temel algoritma kendi aralarında kıyaslandığında dağıtım oranı ve ortalama yayım metriklerine göre birbirlerine performans sergilemişlerdir. Hatta MFR ve GEDIR yönlendirme protokolleri, veri iletimi için komşu düğüm seçiminde %99 aynı komşu düğümü seçmişlerdir. Ayrıca seçilen yolların tümü çoğu durumda benzerdir. Bu yüzden MFR, DIR ve GEDIR yönlendirme protokolleri birbirlerine çok yakın protokollerdir.

#### **4.5. Servis Kalitesi Tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri**

Bazı KAA yönlendirme protokollerinde, yönlendirme kurulumu modellenir ve ağ için problem akışı çözümlendirilir. Servis Kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri, veri kalitesi ile enerji tüketimi arasındaki dengeyi ayarlamaktadırlar. Servis Kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri yolları kurarken noktadan noktaya gerekli gecikmeleri hesaba katar. Verinin Baz İstasyonu'na iletilmesinde servis kalitesini sağlayan gecikme, enerji ve band genişliği metriklerinin optimum düzeyde olması gerekmektedir. Servis tabanlı KAA yönlendirme protokolleri bu ölçütlere uyararak veri iletiminde servis kalitesini sağlamaktadırlar. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerine örnek olarak:

- SAR
- SPEED

yönlendirme protokolleri verilebilir.

#### 4.5.1. SAR

KAA yönlendirme protokollerinde servis kalitesi fikrini ileri süren ilk yönlendirme protokolü SAR (Sequential Assignment Routing) yönlendirme protokolüdür (Akyıldız ve diğ., 2002), (Sohrabi ve diğ., 2000). SAR yönlendirme protokolündeki dağıtım kararları üç faktöre bağlıdır, enerji kaynakları, her rota üzerindeki servis kalitesi ve her bir paketin öncelik düzeyi. Tek rota hatasını önlemek için, çok-rotalı bir yaklaşım kullanılır ve yolların yenilenmiş konum şeması kullanılır. Kaynak düğüm noktasından çoklu yolları oluşturmak için, kaynak düğümden hedef düğümlere doğru bir yönlendirme ağaç yapısı kurulur. Yönlendirme ağacındaki yollar, düşük enerjili düğümleri kullanılmaması için ve servis kalitesi tabanlı yönlendirme protokolünün garanti ettiği servis kalitesi parametrelerinin engellenmemesi için kurulur. Bu işlemin sonunda, her bir algılayıcı düğüm çok yollu yönlendirme ağacının bir parçası olur. SAR yönlendirme protokolü, enerji verimliliği ve hata toleransı ölçütlerini başarmak için yönlendirme tablosu kullanan çok yollu bir protokoldür. SAR, paketlerin öncelik seviyelerini belirleyen iletim maliyeti ve servis kalitesi metriklerinin düzeyinin hesaplanmasını sağlar. SAR algoritmasının amacı, ağ yaşam süresince ortalama ağırlıklı servis kalitesi metriğini minimize etmektir. Topoloji düğüm hatalarına bağlı olarak bozulursa, yeniden hesaplanmış bir yol gerekmektedir. Baz İstasyonu tarafından periyodik olarak yeniden düzenlenen yollar için topolojideki her bir değişim ile etkili bir hesaplama yapılmaktadır. Bu hesaplamalar yönlendirme tablosunda güncellenir. Düğümlerin komşu düğümleri arasındaki yerel yolların belirtildiği tablo temelli anlaşma (handshake) prosedürü, bozukluğun iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Yönlendirme tablosundaki her bir yol için kaynağa yakın ve uzak olan düğümler arasındaki dağıtım ile bozukluğun iyileştirilmesi sağlanır. SAR yönlendirme protokolü, önceliğini hesaba katmaksızın her bir paketin enerji tüketimine odaklanan minimum-enerji metrik algoritmasından daha az güç tüketimi sağlar. SAR yönlendirme protokolünde düğümlerden Baz İstasyonu'na çoklu yollar mevcuttur. Bu hata toleransı ve kolay iyileşmeyi temin etse de, protokol özellikle düğümlerin sayısı fazla olduğu zaman, her bir algılayıcı düğümündeki tabloları ve durumları sürdürmekten kaynaklanan ek yükten dolayı zarar görür.

#### 4.5.2. SPEED

KAA için sunulan bir başka protokol ise SPEED'dir (He ve diğ, 2003). SPEED, gerçek zamanlı noktadan noktaya iletimi garanti eden bir yönlendirme protokolüdür. İletimi garanti etmesi servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolü olmasını sağlamaktadır. SPEED yönlendirme protokolünde her düğüm, komşu düğümlerinin bilgilerini içerir. İletim yollarını bulabilmek için coğrafi yönlendirmeyi kullanır. Ek olarak, SPEED ağın içindeki her paket için kesin bir hız sağlamak için çalışır ki bunu her uygulamadaki noktadan noktaya gecikmeyi, iletimi kabul etmeden önceki paket hızı ile Baz İstasyonu'na olan uzaklığa bölerek tahmin edebilir. Ayrıca SPEED yönlendirme protokolü, ağ tıkanıdığı zaman tıkanıklığı önlemeyi sağlayabilir. SPEED'deki yönlendirme modülü SNGF ve ayrıca Ağ Katmanı üzerinde 4 farklı modül ile çalışır. Her düğümdeki gecikme tahmini, bir komşudan iletilmiş bilgi paketi cevabını olan ACK mesajı alındaki geçen zamanın hesaplanmasıyla basitçe yapılır. SNGF, hız gerektiren iletimlerde, gecikme değerlerine bakarak düğümü seçer. Seçtiği düğüm üzerinden iletim sağlanır. Eğer düğüm seçimi başarısızlıkla sonuçlanırsa, düğümün yedek yol oranı kontrol altına alınması, düğümün komşularının (istenilen hızı sağlayamayan komşu düğümler) hedefi tutturamama oranına bakılarak hesaplanır ve SNGF modülüne gönderilir. SPEED yönlendirme protokolü, DD protokolleri ile karşılaştırıldığında noktadan noktaya gecikmede ve veri kayıp oranında daha iyi performans sergilemektedir. Ayrıca SPEED yönlendirme protokolünde, toplam iletim enerji tüketimi, basit yönlendirme protokollerine nispeten daha azdır. Ancak SPEED, kendi yönlendirme algoritmasında hiçbir bir enerji metriğini dikkate almaz. Bu nedenle, SPEED yönlendirme protokolünün gerçek enerji tüketiminin anlaşılması için enerji duyarlı bir yönlendirme protokolü ile karşılaştırmak daha sağlıklı olacaktır.

#### 4.6. KAA Yönlendirme Protokollerin Karşılaştırılması

Yönlendirme protokolleri belirli kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılmalar; veri merkezli, hiyerarşik, konum tabanlı ve servis kalitesi tabanlı olmak üzere dörde ayrılır. Bu sınıflandırmaların özellikleri genel olarak Tablo 4.1'de görülmektedir. Ayrıca Tablo 4.2'de KAA yönlendirme protokollerinin hareketlilik, kullanılan güç,

görüşme tabanlı, veri yığını, konum belirleme, servis kalitesi, ölçeklenebilirlik, çoklu yol ve sorgu tabanlı gibi performans metrikleri karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.1’de KAA yönlendirme protokol sınıflarının genel olarak karşılaştırılması sunulmaktadır. Yönlendirme protokollerinde yönlendirme esnasında veri çakışması söz konusu olabilir. Veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde çakışma problemi iletim esnasında ek yük getirmekte ve gereksiz enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Çakışmalar önlenemezse, veri iletiminin tekrar edilmesi gerekir. Ancak diğer KAA yönlendirme protokol sınıflarında çakışmalar önlenmektedir. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde veri iletimi küme başları tarafından yapıldığı için çakışmalar önlenmektedir. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde ise yönlendirme düğümlerin konum bilgisine bağlı olduğu için çakışma olasılığı düşüktür ve önlenmektedir. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri yönlendirme tabloları kullanarak çakışmaları önleyebilmektedir. Dolayısıyla çakışma problemi, genel olarak veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde karşılaşılan ve gereksiz enerji sarfiyatına neden olan bir problemdir.

Tablo 4.1’deki verilere göre görev dönüşümleri veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde düğümlerin kontrollü uyumasıyla sağlanır. Düğümler kontrollü olarak uyuma moduna alınırlar. Bu esnada algılama, veri alma, hesaplama ve veri iletimi yapamazlar. Dolayısıyla düğümler arasındaki görev dönüşümleri ve de uyuma moduna geçme işlemi kontrollü olarak sağlanır. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde ise görev dönüşümleri periyodik olarak sağlanmaktadır. Bazı düğümler uyuma moduna geçerken diğerleri çalışma moduna geçer. Bu durum belirli aralıklarla sağlanmaktadır. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde ise görev dönüşümleri kontrollü olarak sağlanmaktadır. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde ise görev dönüşümleri periyodik olarak sağlanmaktadır.

Veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde düğüme veri geldiğinde yönlendirme yapmadan önce verileri toplar ve veri yığını oluşturur. Oluşturduğu bu veri yığını komşu düğümlerine iletir. Veri yığını oluşturulması birden fazla iletim yapmaktansa bir seferde iletim yapmayı amaçlamaktadır. Çünkü veri iletimi

esnasında enerji sarfiyatı çok olmaktadır. Yönlendirme protokollerinde veri yığını kullanarak gereksiz enerji sarfiyatını engellemek istenir. Literatürde sunulan ve kullanılan bir çok yönlendirme protokolü veri yığını kullanmaktadır. Ancak veri yığını kullanımını konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde kullanılmamaktadır. Veri yığını hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde küme başları tarafından yapılmaktadır. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri de veri yığını kullanırlar.

Yönlendirme, veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde karmaşıktır ancak optimumdur. Hiyerarşik ve konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde yönlendirme basittir ancak kompleks bir yapıya sahiptir. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde ise yönlendirme optimumdur. Ayrıca yönlendirme yapısı da basittir. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri, öncelik olarak servis kalitesini sağlamak için ideal bir yönlendirme yapmaktadırlar. Gecikme, enerji kullanımı ve veri kalitesi gibi metrikleri ideal bir ölçüde kullandıkları için optimum yönlendirme protokolleri olmaktadır. Dolayısıyla servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri diğer yönlendirme protokol sınıflarına göre daha ideal bir yapıya sahiptir.

Algılayıcı düğümler arasındaki bağlantılar veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde düzenli bir yapıda değildir. Bu durum servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde geçerlidir. Ancak hiyerarşik ve konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri yerel ve genel bağlantıları düzenlemeli ve senkronizasyon sağlamalıdır.

Veri iletimi için yönlendirme, veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde verinin bulunduğu alandan düzenlenir. Veri iletimi buradan ağa ve Baz İstasyonu'na doğru yapılmaktadır. Ancak hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde ise yönlendirme küme başından ağa doğru yapılmaktadır. Yönlendirme, konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde ise düğümden Baz İstasyonu'na doğru yapılmaktadır. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde yönlendirme, verinin bulunduğu alandan yönlendirme tabloları yardımı ile ağa ve Baz İstasyonu'na doğru yapılmaktadır.

Veri gecikmesini engellemek için çoklu yol kullanımı gerekmektedir. Veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde orta düğümlerde gecikme meydana gelirse çoklu yolların kurulumu ve kullanımı gerekmektedir. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde ise küme başı gecikmeyi en aza indirmek için çoklu yollar kullanılmaktadır. Konum tabanlı ve servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri çoklu yolları kullanmazlar.

Veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde enerji sarfiyatı kullanılan trafik modellerine bağlıdır. Enerji sarfiyatı trafik modellerine göre düzenlenebilmektedir. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde ise enerji sarfiyatı düzenlidir ve kontrol edilemez. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde enerji sarfiyatı düğümlerin konumlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca enerji sarfiyatı düzenlenemez. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde enerji sarfiyatı düzenlidir ve çalışma modellerine göre enerji kullanımı düzenlenebilir. Enerji tüketimi açısından servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri daha avantajlıdır.

Veri iletiminde ve yönlendirmede veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri doğruluğu garanti edemezler. Ancak servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleri veri doğruluğunu garanti edebilirler. Hiyerarşik ve konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri adil yolları tahsis ederler ancak doğruluğu garanti edemezler.

Tablo 4.1'deki verilere göre yönlendirme protokolleri sınıflarının öne çıkan özellikleri belirtilmektedir. Veri merkezli KAA yönlendirme protokollerinde görev dönüşümlerinin kontrollü sağlanması yönlendirmenin optimum olmasını sağlamaktadır. Hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerinde yönlendirme küme başı tarafından yapıldığı için ağ trafiği rahattır ve gecikmeler önlenir. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde belirli yollar konum bilgilerine göre tahsis edilir dolayısıyla yönlendirme basit bir yapıdadır. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinin doğruluğu garanti etmesi ve servis kalitesini gözetmesi en ideal olmalarını sağlamaktadır.

Tablo 4.1. KAA yönlendirme protokol sınıflarının karşılaştırılması

<b>Veri Merkezli KAA Yönlendirme Protokolleri</b>	<b>Hiyerarşik KAA Yönlendirme Protokolleri</b>	<b>Konum tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri</b>	<b>Servis Kalitesi Tabanlı KAA Yönlendirme Protokolleri</b>
Çağışmalar ek yük getirir	Çağışmalar önlenir	Çağışmalar önlenir	Çağışmalar önlenir
Görev dönüşümleri düğümlerin kontrollü uyuması ile sağlanır	Görev dönüşümleri periyodik uyuma moduna göre ayarlanır	Görev dönüşümleri kontrollü sağlanır	Görev dönüşümleri periyodik uyuma moduna göre ayarlanır
Düğüm komşu düğümlerden veri geldiğinde çoklu iletim yollarını kullanır	Veri toplama küme başı tarafından sağlanır	Veri yığıcı yapılmamaktadır	Veri yığıcı mevcuttur
Yönlendirme optimumdur ancak karmaşıktır	Basit fakat optimum bir yönlendirme değildir	Yönlendir basittir ancak optimum değildir	Yönlendirme optimumdur
Bağlantılar senkronize bir şekilde düzenlenmezler	Yerel ve genel senkronizasyon gerektirir	Yerel ve genel senkronizasyon gerektirir	Bağlantılar düzenlidir
İletim için yönlendirme ancak verimin bulunduğu alandan düzenlenir	Yönlendirme küme başından ağa doğru yapılır	Yönlendirme ilgi alanından Baz ist'nuna doğru yapılır	Yönlendirme ağ akışına bağlıdır
Gecikme orta düğümlerde başlarsa çoklu yollar kurulur	Küme başı tarafından çoklu yollar ile gecikme en aza indirilir	Çoklu yollar kullanılmamaktadır	Çoklu yollar kullanılmaz
Enerji sarfiyatı trafik modellerine bağlıdır	Enerji sarfiyatı düzenlidir	Enerji sarfiyatı düğümlerin konumlarına bağlıdır	Enerji sarfiyatı düzenlidir
Enerji sarfiyatı trafik modeline ayarlanır	Enerji sarfiyatı kontrol edilemez	Enerji sarfiyatı kontrol edilemez	Enerji sarfiyatı çalışma modeline göre düzenlenebilir
Doğruluk garanti edilemez	Adil yollar tahsis eder	Belirli yollar tahsis eder	Doğruluk garanti edilir

Tablo 4.2’de, Bölüm 4’de açıklanan protokollerin tamamı önemli performans ölçütlerine göre kıyaslanmaktadır. Karşılaştırma ölçütleri olarak; hareketlilik, pozisyon bilgisi, kullanılan güç, görüşme tabanlı, veri yığını, konum belirleme, servis kalitesi, ölçeklenebilirlik, çoklu yol, ve sorgu tabanlı performans ölçütlerine göre kıyaslama yapılmaktadır. Hareketlilik, KAA’daki düğümlerin sabit olmayıp hareketli olması özelliğidir. Pozisyon bilgisi, algılayıcı düğümlerin pozisyonları hakkındaki bilgileri içerir. Kullanılan güç, yönlendirme algoritması esnasındaki harcanan güçtür. Görüşme tabanlı performans ölçütü ise düğümün yönlendirme yapmadan önce diğer düğümlere gönderilecek veri hakkındaki kısa bilgileri göndermesi ve bu doğrultuda yönlendirme yapması özelliğidir. Veri yığını, düğüme gelen birden fazla veriyi yönlendirme yapmadan önce birleştirerek verileri iletmesi performans ölçütüdür. Servis kalitesi, veri iletimindeki düzenli bir iletim yapılması özelliğidir. Ölçeklenebilirlik, yönlendirme protokolünün uygulanabilirliğini gösterir. Çoklu yol, yönlendirme protokolünde düğümün veri iletimi için birden fazla yolu kullanabilme özelliğidir. Sorgu tabanlı, veri iletimlerinin belirli istek ve sorgularla yapılması özelliğidir.

KAA yönlendirme protokolleri temel sınıflandırılmalara tabi tutulduğunda veri merkezli yönlendirme protokollerinin çokluğu göze çarpmaktadır. Tablo 2’deki verilere göre veri merkezli protokollerden DD yönlendirme protokolü, ağdaki düğümlerin hareketliliğine (mobility) sınırlı düzeyde izin verir. DD yönlendirme protokolündeki düğümlerin hareketlilik özelliğine sınırlı düzeyde sahip olması özelliği, DD yönlendirme protokolünün RR, MCFA, COUGAR, CADR, GBR ve EAR yönlendirme protokollerine nispeten üstün bir özelliğidir. zira bu protokollerde düğümlerin hareketliliğine ya izin yoktur ya da çok sınırlıdır. Ancak SPIN yönlendirme protokolünde düğümlerin hareketliliği mümkündür. Dolayısıyla SPIN yönlendirme protokolü düğümlerin hareketlilik özelliği açısından diğer veri merkezli yönlendirme protokollerine nispeten daha üstün ve avantajlıdır. Tablo2’deki değerlere göre veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri arasında görüşme tabanlı yönlendirme yapan sadece SPIN ve DD vardır. Görüşme tabanlı yönlendirme bazı uygulamalarda verimli olabilmektedir. Dolayısıyla SPIN ve DD yönlendirme protokolleri diğer veri merkezli KAA yönlendirme protokollerine nispeten görüşme tabanlı özelliklerinden dolayı daha verimlidir. Veri merkezli yönlendirme



protokolleri genellikle veri yığını kullanan protokollerdir ancak MCFA ve EAR yönlendirme protokollerinde veri yığını bulunmamaktadır. Ölçeklenebilirlik özelliği bakımından genel olarak veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri sınırlıdır. Ancak RR, MCFA ve GBR yönlendirme protokolleri iyi derecede ölçeklenebilirlik özelliklerine sahiptirler. Yönlendirme algoritmalarında kullanılan yollar önemlidir. Çünkü bu yollardaki düğümlerin sık kullanılması ve aynı yolların tercih edilmesi yol üzerindeki düğümlerin ve kullanılabilir enerjilerini azaltmakta hatta bitirebilmektedir. Dolayısıyla alternatif yolların olması ve çoklu yol iletiminin sağlanması yönlendirme açısından önem arz etmektedir. Çoklu yolları kullanan veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri sadece SPIN ve DD'dir. SPIN ve DD yönlendirme protokollerinde birden fazla yolun kullanılması mümkündür. KAA yönlendirme protokolleri çalışma modeli olarak sürekli çalışma, sorgu-yanıt, ve enerji duyarlı çalışma modellerini kullanılırlar. Sorgu-yanıt modelinde yönlendirme, belirli sorguların karşılığında verilerin iletimidir. Sorgu tabanlı veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri SPIN, DD, RR, GBR ve EAR yönlendirme protokolleridir. MCAFA, CADR ve COUGAR veri merkezli KAA yönlendirme protokolleri sorgu tabanlı çalışma modelini kullanmamaktadırlar. Tablo 2'deki verilere bakıldığında veri merkezli yönlendirme protokollerinde özellikleri bakımından öne çıkan iki yönlendirme protokolü vardır. Bunlar SPIN ve DD'dir. Ancak SPIN yönlendirme protokolü, KAA'da düğümlerin hareketlilik özelliklerini mümkün kıldığı için DD'na göre daha optimum ve verimli bir protokoldür.

Tablo 4.2'deki sunulan verilere göre hiyerarşik KAA yönlendirme protokolleri olarak LEACH, PEGASIS ve TEEN & APTEEN protokolleri vardır. Genel olarak hiyerarşik KAA yönlendirme protokollerin çalışma modelleri birbirine benzemektedir. LEACH, PEGASIS ve TEEN & APTEEN yönlendirme protokolleri sorgu-yanıt çalışma modelini kullanmazlar dolayısıyla sorgu tabanlı değildir. Ayrıca veri iletimi için herhangi bir görüşme yapmadıkları için görüşme tabanlı özellikleri de yoktur. LEACH, PEGASIS ve TEEN & APTEEN yönlendirme protokolleri çoklu yolları da kullanmazlar. Ancak konum belirleme özellikleri olduğu için veri iletimi belirli rotalardan yapılmaktadır. Hiyerarşik yönlendirme protokolleri genel olarak veri yönlendirmelerini küme başları aracılığıyla yaptıkları için konum belirleme bilgisine sahiptirler. Dolayısıyla yönlendirme esnasında kolaylık

sağlanmaktadır. LEACH ve PEGASIS yönlendirme protokolleri ağdaki düğümlerin hareketliliğine izin vermez. Düğümler sabit olmalıdır. Ancak TEEN & APTEEN yönlendirme protokolünde böyle bir kısıtlama söz konusu değildir. TEEN & APTEEN yönlendirme protokolünde yalnızca Baz İstasyonu'nun sabit olması yeterlidir. Düğümlerdeki hareketlilik ölçütüne göre TEEN & APTEEN yönlendirme protokolü LEACH ve PEGASIS yönlendirme protokollerine göre daha avantajlıdır. LEACH ve TEEN & APTEEN yönlendirme protokolleri PEGASIS yönlendirme protokolünden farklı olarak veri yığınlarına sahiptirler.

Tablo 4.2'de konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri olarak GEAR, MFR-CEDIR ve GAF yönlendirme protokolleri mevcuttur. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri Tablo 1'de özellikleri itibariyle kıyaslanmaktadır. GEAR ve GAF yönlendirme protokolleri ağdaki düğümlere hareketlilik özelliği kazandırmaktadır. Ancak bu hareketlilik sınırlıdır. Çünkü konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri veri iletimini konum bilgilerine göre yapmaktadırlar. Dolayısıyla düğümlerin konumlarını sürekli değiştirmeleri yönlendirme protokolü için bir sıkıntı olabilir. MFR-DIR-GEDIR yönlendirme protokolünde ise düğümler için hareketlilik söz konusu değildir. Yönlendirme protokollerinin ölçeklenebilirlik durumlarına göre GEAR ve MFR-DIR-GEDIR yönlendirme protokolleri sınırlı ölçeklenebilirlik özelliğine sahiptir. Ancak GAF yönlendirme protokolünün ölçeklenebilirlik düzeyi gayet iyidir. Konum tabanlı KAA yönlendirme protokolleri genel olarak konum belirleme özelliklerine sahiptirler. Veri iletiminde görüşme tabanlı iletimi kullanmazlar. GEAR, GAF ve MFR-DIR-GEDIR yönlendirme protokolleri çoklu yol ve veri yığını kullanmazlar. Çalışma modeli olarak sürekli çalışma ve enerji duyarlı çalışma modelini tercih ettikleri için sorgu tabanlı değildirler.

Tablo 4.2'deki SAR ve SPEED yönlendirme protokolleri servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolleridir. SAR ve SPEED yönlendirme protokollerini diğer protokollerden ayıran özelliği servis kalitesi olmasıdır. Servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokollerinde düğümlerin hareketlilik özellikleri yoktur. SAR ve SPEED yönlendirme protokolünde yönlendirme işlemi için görüşme söz konusu değildir. Dolayısıyla görüşme tabanlı özelliğine sahip değildirler. Yönlendirme

işlemi konum bilgisine göre de yapılmamaktadır. Veri iletimi ve yönlendirme sorgu-yanıt modeline göre yapılmaktadır. Dolayısıyla SAR ve SPEED sorgu tabanlı özelliğe sahiptirler. SAR yönlendirme protokolünün SPEED yönlendirme protokolünden farklı olarak veri yığıcı özelliği vardır. Ancak her iki yönlendirme protokolünde de çoklu yol bulunmamaktadır.

Tablo 4.2. KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması

Protokoller	Sınıf	Hareketlilik	Kullanılan Güç	Görüşme Tabanlı	Veri Yiğim	Konum Belirleme	Servis Kalitesi	Öçektenebilirlik	Çoklu Yol	Sorgu Tabanlı
<b>DD</b>	Veri Merkezli	Sınırlı	Sınırlı	Var	Var	Var	Yok	Sınırlı	Var	Var
<b>RR</b>	Veri Merkezli	Çok sınırlı	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	İyi	Yok	Var
<b>SPIN</b>	Veri Merkezli	Mümkün	Sınırlı	Var	Var	Yok	Yok	Sınırlı	Var	Var
<b>EAR</b>	Veri Merkezli	Sınırlı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Sınırlı	Yok	Var
<b>COUAR</b>	Veri Merkezli	Yok	Sınırlı	Yok	Var	Yok	Yok	Sınırlı	Yok	Yok
<b>MCFA</b>	Veri Merkezli	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>GBR</b>	Veri Merkezli	Sınırlı	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	İyi	Yok	Var
<b>CADR</b>	Veri Merkezli	Yok	Sınırlı	Yok	Var	Yok	Yok	Sınırlı	Yok	Yok
<b>LEACH</b>	Hiyerarşik	Sabit	Maksimum	Yok	Var	Var	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>PEGASIS</b>	Hiyerarşik	Sabit	Maksimum	Yok	Yok	Var	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>TEEN -APTEEN</b>	Hiyerarşik	Baz Sabit	Maksimum	Yok	Var	Var	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>TTDD</b>	Hiyerarşik	Var	Sınırlı	Yok	Yok	Yok	Yok	Düşük	Olabilir	Olabilir
<b>HPAR</b>	Hiyerarşik	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>GEAR</b>	Konum Tabanlı	Sınırlı	Sınırlı	Yok	Yok	Var	Yok	Sınırlı	Yok	Yok
<b>GAF</b>	Konum Tabanlı	Sınırlı	Sınırlı	Yok	Yok	Var	Yok	İyi	Yok	Yok
<b>MFR-DIR-GEDIR</b>	Konum Tabanlı	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Sınırlı	Yok	Yok
<b>SAR</b>	Servis Kalitesi Tabanlı	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Var	Sınırlı	Var	Var
<b>SPEED</b>	Servis Kalitesi Tabanlı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Sınırlı	Var	Var

Tablo 4.3’de kendi sınıflarında yaygın olarak kullanılan KAA yönlendirme protokolleri kıyaslanmaktadır. Bu protokoller SPIN, PEGASIS, GEAR ve SAR KAA yönlendirme protokolleridir. Çalışma modelleri, düğümlerin sahip olduğu bilgiler, tasarım hedefleri ve algoritmaları incelenerek karşılaştırılmıştır. Bu protokollerden PEGASIS düğümlerin sahip olduğu bilgi açısından öne çıkmaktadır. En az enerji sarfiyatını hedeflemesi ve çalışma modeli olarak ise enerji duyarlı çalışması PEGASIS’in diğerlerine göre önemini artırmaktadır. Ancak SPIN yönlendirme protokolü de düğümlerin sahip olduğu enerji seviyesi bilgi ile ve çalışma modeli olarak tüm modelleri kullanabilmesi ile enerjinin verimli kullanımında en verimli kullanılan protokoldür.

Sonuç olarak enerjinin kısıtlı olduğu ve enerji veriminin önem arz ettiği uygulamalarda SPIN yönlendirme protokolü daha efektif olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. Yaygın olarak kullanılan KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması

Protokoller	Algoritma	Tasarım Hedefi	Düğümlerin Sahip Olduğu Bilgi	Global ID	Çalışma Modeli
<b>SPIN</b> (Veri Merkezli)	Algılayıcı gözlemlerini ağdaki tüm düğümlere yayar. Bu göçme, örtüşme ve kaynak-bilgisizliğine çözüm içerir.	Birim zaman ve enerjyle maksimum veri iletimi	Enerji seviyesi	Var	Sürekli çalışma Sorgu yanıt, enerji duyarlı
<b>PEGASIS</b> (Hiyerarşik)	Düğümlerden alınan veriyi toplar baza gönderir.	Minimum enerji, maksimum ömür	Tüm düğümlerin konumları	Var	Sürekli çalışma
<b>GEAR</b> (Konum Tabanlı)	Bazdan R bölgesindeki düğümlere sorguyu gönderir.	Maksimum ömür	Düğümlerin konumları ve enerji seviyeleri	Yok	Sorgu yanıt, enerji duyarlı
<b>SAR</b> (Servis Kalitesi Tabanlı)	Düğümlerden aldığı veri servis kalitesi ile Baz İstasyonu'na gönderir.	Maksimum ağ yaşam süresi	Enerji seviyesi	Yok	Sürekli çalışma

#### 4.7. Sonuç

Bu bölümde KAA yönlendirme protokolleri incelenmektedir. Ayrıca bu protokollerin çalışma prensipleri ve algoritmalarına göre sınıflandırılması yapılmaktadır. KAA yönlendirme protokollerinden DD, SPIN, RR, LEACH, PEGASIS, GEAR, MCFA, EAR, COUGAR, SAR, SPEED, GAF, MFR-GEDIR, TEEN & APTEEN, CADR, GBR ve HPAR yönlendirme protokollerinin algoritma yapıları ve çalışma şekilleri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Yönlendirme protokollerinin haberleşmede ne derece önemli olduğu görülmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlar için sunulan birçok yönlendirme protokolü vardır. Bu protokoller bazı parametrelere göre sınıflandırılmaktadır. Yönlendirme Protokolleri veri merkezli, hiyerarşik, konum tabanlı ve servis kalitesi kaynaklı diye sınıflandırılmaktadır.

KAA yönlendirme protokolleri karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır. Karşılaştırma açısından performans değerlendirmesi için hareketlilik, ölçeklenebilirlik, pozisyon bilgisi, kullanılan güç, veri yığını, çoklu yol, servis kalitesi, görüşme tabanlı ve sorgu tabanlı metrikleri kullanılmaktadır. Bu performans metriklerine göre en efektif KAA yönlendirme protokolleri LEACH, PEGASIS ve SPIN yönlendirme protokolleridir.

KAA yönlendirme protokollerinin bu genel kıyaslamasının yanı sıra kendi sınıflarında en yaygın kullanılan SPIN, PEGASIS, GEAR ve SAR KAA yönlendirme protokolleri farklı uygulamalar açısından kıyaslanmaktadır. SPIN, düğümlerin sahip olduğu enerji seviyesi bilgisi ve çalışma modeli olarak tüm modelleri kullanması ile en efektif KAA yönlendirme protokolüdür.

## **5. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN MODELLEMESİ VE BENZETİMİ**

### **5.1. Giriş**

Bu bölümde, KAA yönlendirme protokollerinin modellenmesi ve benzetimi için bir örnek uygulama yapılmaktadır. KAA yönlendirme protokollerinin test edilmesi ve benzetiminin gerçekleşmesi için çok sayıda platform ve benzetim aracı bulunmaktadır. Bu bölümde modelleme ve benzetim araçları tanıtılmakta ve kullanılan OMNeT++ modelleme aracı anlatılmaktadır. OMNeT++ modelleme ve benzetim aracı ile Flooding yönlendirme protokolünün benzetimi yapılmaktadır.

Tez çalışmasında KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. KAA yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması için sağlıklı yollardan birisi de, yönlendirme protokollerinin modellenerek karşılaştırılmasıdır. Ancak kullanılan ve literatürde sunulan KAA yönlendirme protokollerinin çok olması, modellenerek karşılaştırılmasını güç kılmaktadır. Dolayısıyla KAA yönlendirme protokollerinin modellenmesine bir örnek olarak Flooding yönlendirme protokolünün benzetimi yapılmaktadır. Bu benzetiminin yapılmasının temel amacı diğer KAA yönlendirme protokollerinin de modellenebileceğini bir örnekle açıklanmaktadır.

### **5.2. KAA Geliştirme ve Benzetim Araçları**

KAA yönlendirme protokollerinin test edilmesi ve benzetiminin gerçekleşmesi için çok sayıda platform ve benzetim aracı vardır. Bu benzetim araçlarında, yönlendirme protokollerinin enerji verimi, sınırlı kaynaklar, bağımsız işbirliği, hata toleransı, simülasyon senaryoları ve genel çalışma prensipleri gibi bileşenleri kullanılabilir. Kullanılan benzetim araçlarına ns-2, OMNeT++, Sense, Tossim, GloMoSim, Emstar, ve Shawn örnek olarak verilebilirler. Bunlar arasında en yaygın kullanılanlar ise ns-2 ve OMNeT++'dır. Ns-2 Linux işletim sisteminde çalışan bir platform iken OMNeT++, Linux ve Windows işletim sistemlerinde çalışabilir.



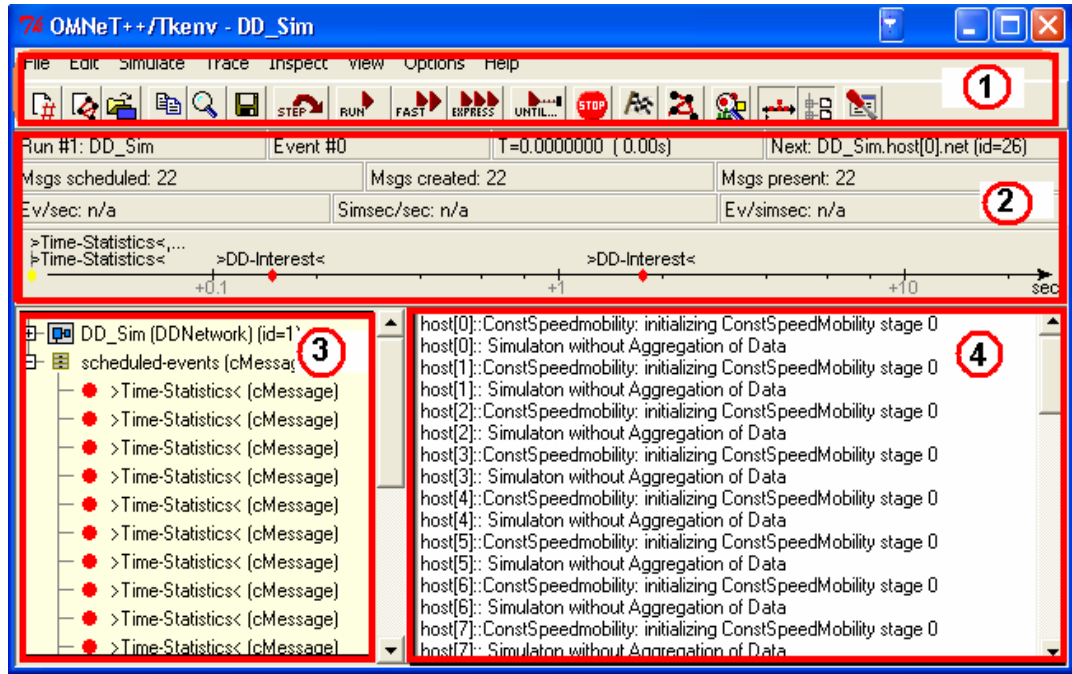
ns-2: En yaygın kullanılan ağ benzetim aracıdır. ns-2 birçok protokol, trafik jeneratörleri, TCP benzetim aracı, yönlendirme protokolü ve kablosuz ağ içermektedir. Bu benzetim aracı ISO/OSI modeli üzerine odaklanmıştır. KAA'lar için bazı içerikler mevcuttur. Bunlar; algılayıcı kanallar, algılayıcı modeller, batarya modülleri, protokol yığınları, karma benzetimler ve senaryo geliştirici araçlardır. Bazı akademisyenler bu yönlendirme protokol tekniklerini geliştirmek için bu benzetim aracından yararlanıyorlardı ama sonra kendi benzetim araçlarını geliştirdiler. Buna Sensim örnek olarak verilebilir.

OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C ++): nesneye yönelik modüler bir soyut eylem benzetim aracıdır. OMNeT++ Dr György Ponger tarafından geliştirilmiştir (Varga, A., 2005). Bu benzetim aracı, ISO/OSI model takibine, büyük ölçekli ağların kullanılması, grafik ağ editörü ve ağdaki bilgi akışının üzerine yoğunlaşmaktadır. Ayrıca OMNeT++ benzetim aracı, iletişim protokolleri, bilgisayar ağları ve trafik modelleme, çok işlemlili güvenli sistemleri, yönetimsel sistemleri ve soyut eylem yaklaşımı uygun olan sistemleri modellemede kullanılır. Benzetim aracı modeli iç içe geçmiş hiyerarşik modülleri içerir. OMNeT++'ın, modüler benzetim aracı modeller ile birleşik olabilmesi, kullanıcı arayüzleri komut satırı, grafiksel kullanıcı arayüzü, ve eklenebilir hareketlilik yapısı başlıca özellikleridir. Mobility FrameWork (MFW), bilgisayar ağlarına hareketlilik yapısı kazandıran bir yapıdır. MFW ile kablosuz ağlar, mobil kablosuz ağlar, soyut (ad-hoc) ve merkezli ağlar, kablosuz algılayıcı ağlar, çok kanallı kablosuz, hareketlilik özelliği ve kablosuz arayüz ihtiyacı olan diğer simülasyonlar modellenilebilir.

Sunulan çalışmada OMNeT++ geliştirme ve benzetim aracı kullanılmaktadır. OMNeT++'ı seçilmesindeki en önemli nedenler, Windows işletim sisteminde çalışıyor olması, ve KAA için bir yapının eklenebiliyor olmasıdır. Ayrıca OMNeT++ geliştirme ve benzetim aracı ücretsiz kullanılabilir.

### 5.3. OMNeT++ Geliştirme ve Benzetim Yazılımının Kullanıcı Arayüzü

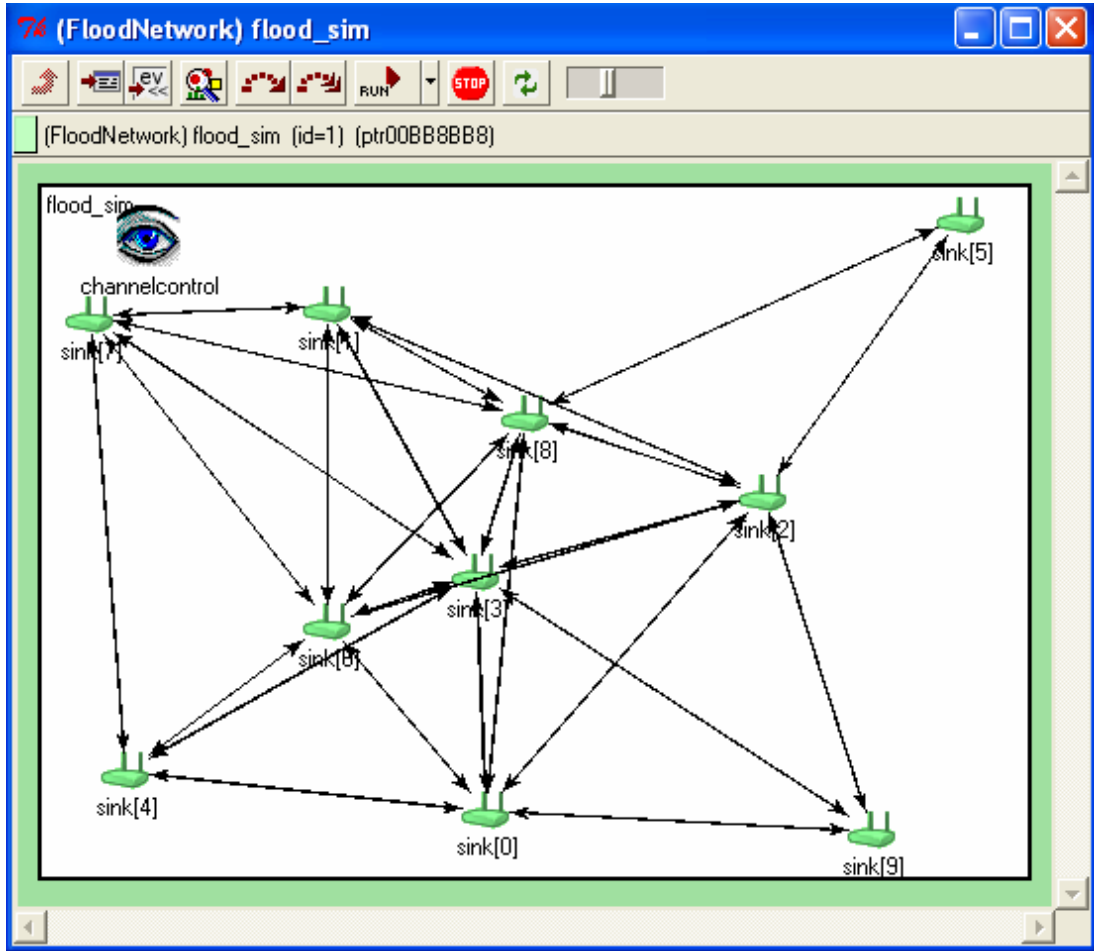
Öncelikle program kodlarının yazılıp derlenmesi için Microsoft Studio Visual C++ (MSVC++) 8.0 kurular. Çünkü OMNeT++'da kod yazmak mümkün değildir; bundan dolayı, VC++ ile proje oluşturularak kod yazılır ve derlenir. MSVC++ 8.0 ve daha sonra OMNeT++ 3.3 programı kuruluştur. MSVC++ üzerinde yapılandırma ayarları gerçekleştirilerek KAA benzetimi yapmak için Mobility FrameWork (MFW) 1.06 versiyonu kurulmuştur. Böylece KAA'lar için hazırlayacağımız yönlendirme protokolleri için gerekli arayüz tamamlanmıştır.



Şekil 5.1. OMNeT++ programının arayüzü

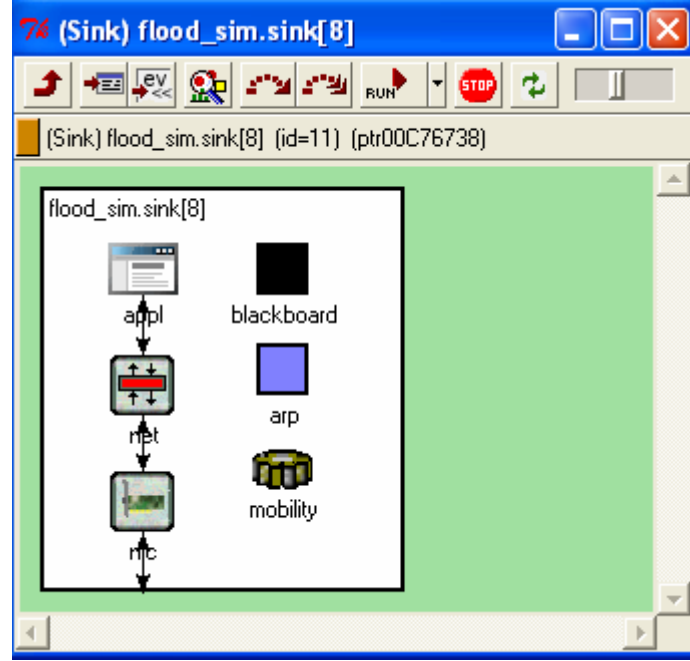
OMNeT++ çalıştırıldıktan sonra Şekil 5.1'deki arayüz karşımıza gelmektedir. OMNeT++ arayüzü, test, analiz ve benzetim gelişimini vermektedir. Şekil 5.1, 4 ayrı bölüme ayrılmıştır. Bunlardan 1'nolu bölümde asıl menü ve benzetim komut ikonları bulunmaktadır. 2'nolu bölümde, benzetim zamanı, eylem bilgisini oluşturulan mesajların istatistikleri tutulmakta ve de gösterilmektedir. 3'nolu bölümde benzetim yapılan ağ modelleri ve benzetimdeki eylem listeleri yer alır. 4'nolu bölümde ise düğümlerdeki mesajla yer alır. Bu mesajlar program kodlarının ve derlenen benzetim mesajlarıdır. Aynı zamanda bu mesajlar simülasyonu tamir etmek için de kullanılabilir.

MFW eklenebilen bir yapıdır. Bu yapı sayesinde kablosuz ve hareketli ağların simülasyonu yapılabilir. Şekil 5.2’de örnek bir ağ gösterilmektedir. MFW ile desteklenen program algılayıcı düğümlere hareket izni vermektedir. Ayrıca düğümler arasındaki bağlantı dinamik olarak kurulmaktadır. MFW’deki channelcontrol, birbirini algılama mesafesindeki düğümler arasındaki bağlantıyı otomatik olarak kurmaktadır.



Şekil 5.2. OMNeT++'da MFW ile network arayüzü

Şekil 5.2’de 10 adet algılayıcı düğüm bulunmaktadır ve bunlar arasındaki bağlantı otomatik olarak kurulmuştur. Şekil 5.2’deki siyah kısım simülasyon alanının sınırlarını belirtmektedir. Channelcontrol simgesinin herhangi bir rolü yoktur.



Şekil 5.3. Sink(8) düğümünün alt katman yapısı

Şekil 5.2'deki her bir düğüme ait alt katmanları da görebilmek mümkündür. Sink(8) düğümüne çift tıkladığında Şekil 5.3'deki Sink(8) düğümünün alt katmanları görülmektedir. Ayrıca bu katmanlardaki kısımlara yine çift tıklanırsa, katmanlarda kullanılan parametreler ve modüller de görülebilir.

#### 5.4. KAA Flooding Yönlendirme Protokolünün Modellenmesi ve Benzetimi

KAA yönlendirme protokolleri açıklandı ve karşılaştırılmalar yapıldı. Bu bölümde KAA yönlendirme protokollerinin modellenmesi ve benzetimine bir örnek teşkil etmesi için Flooding algoritmasının gerçekleştirilerek benzetimi yapılmaktadır. Çalışmada karşılaştırılması yapılan KAA yönlendirme protokollerinin tamamının modellenerek benzetiminin yapılması çok güçtür. Bundan dolayı KAA yönlendirme protokollerinin modellenmesine ve benzetimine örnek sunmak amacı ile Flooding yönlendirme protokolünün benzetimi yapılmaktadır. Flooding yönlendirme protokolü temel olarak algıladığı verileri Baz İstasyonu'na yayın (broadcast) ile gönderir. Flooding yönlendirme protokolünde düğüme eğer veri gelirse düğüm gelen veriyi, kendisine gönderen komşusu hariç diğer komşu düğümlere iletir. Bu durum veri Baz

İstasyonu'na ulaşıncaya kadar tekrar edilir. Flooding yönlendirme protokolünün algoritması Şekil 5.4'de görülmektedir.

Flooding yönlendirme protokolü OMNeT++ modelleme ve benzetim yazılımı ile gerçekleştirildi. Öncelikle OMNeT++ yazılımı gerekli ayarlar yapılarak bilgisayarımıza yüklendi. KAA'larda düğümler arasındaki bağlantıyı sağlayan ve düğümlere hareketlilik özelliği kazandıran MFW modülü eklendi. VC++ yazılımı ile öncelikle proje oluşturuldu. Projede gerekli yazılım için kodlar geliştirildi. Derlenen proje ile yönlendirme protokolünün benzetimi gerçekleştirildi. Benzetimde kullanılan Flooding yönlendirme protokolüne ait bilgiler omnetpp.ini dosyasında yer almaktadır. Benzetimde kaç tane düğümün yer alacağı, düğümlerin konumlarının ne olacağı, benzetim alanının sınırları, simülasyon zamanı, çıkış vektörlerinin, Ağ Katmanı'nın, Uygulama Katmanı'nın, Mac Katmanı'nın, Decider ve Snreval Katman'larının parametreleri omnetpp.ini dosyasında belirtilmektedir.

Oluşturulan simülasyon senaryosunda 10 adet algılayıcı düğüm bulunmaktadır.

```
flood_sim.numHosts = 10
```

Simülasyon alanı ise 500 x 350'dür

```
flood_sim.playgroundSizeX = 500
```

```
flood_sim.playgroundSizeY = 350
```

Benzetimdeki düğümlerin pozisyonunu istenilen koordinatlarla ayarlanabilmektedir.

Benzetimdeki düğümler için koordinatlar aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Eğer

düğümlerin belirtilen simülasyon alanında rasgele yerleşmesi istenirse değerlere -1

yazılır.

```
flood_sim.sink[0].mobility.x = 230
```

```
flood_sim.sink[0].mobility.y = 320
```

```
flood_sim.sink[1].mobility.x = 150
```

```
flood_sim.sink[1].mobility.y = 65
```

```
flood_sim.sink[2].mobility.x = 370
```

```
flood_sim.sink[2].mobility.y = 160
```

```
flood_sim.sink[3].mobility.x = 225
```

```
flood_sim.sink[3].mobility.y = 200
```

```
flood_sim.sink[4].mobility.x = 48  
flood_sim.sink[4].mobility.y = 300
```

```
flood_sim.sink[5].mobility.x = 470  
flood_sim.sink[5].mobility.y = 20
```

```
flood_sim.sink[6].mobility.x = 150  
flood_sim.sink[6].mobility.y = 225
```

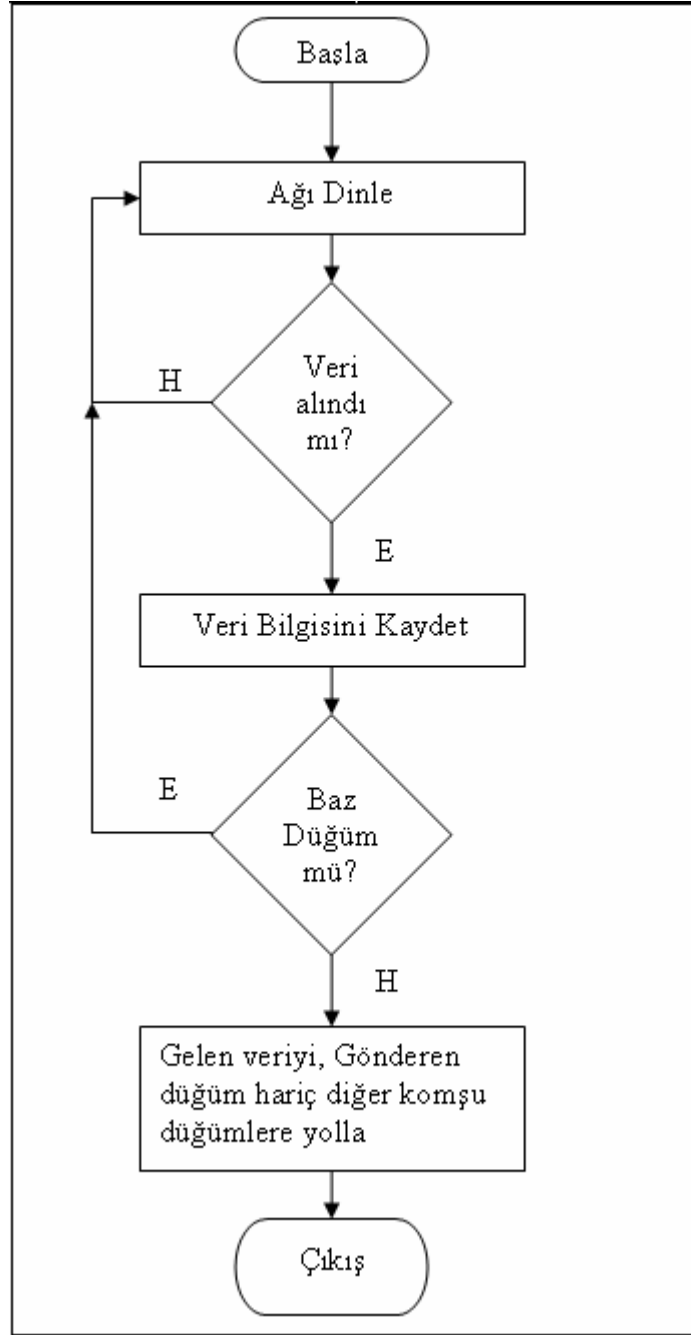
```
flood_sim.sink[7].mobility.x = 30  
flood_sim.sink[7].mobility.y = 70
```

```
flood_sim.sink[8].mobility.x = 250  
flood_sim.sink[8].mobility.y = 120
```

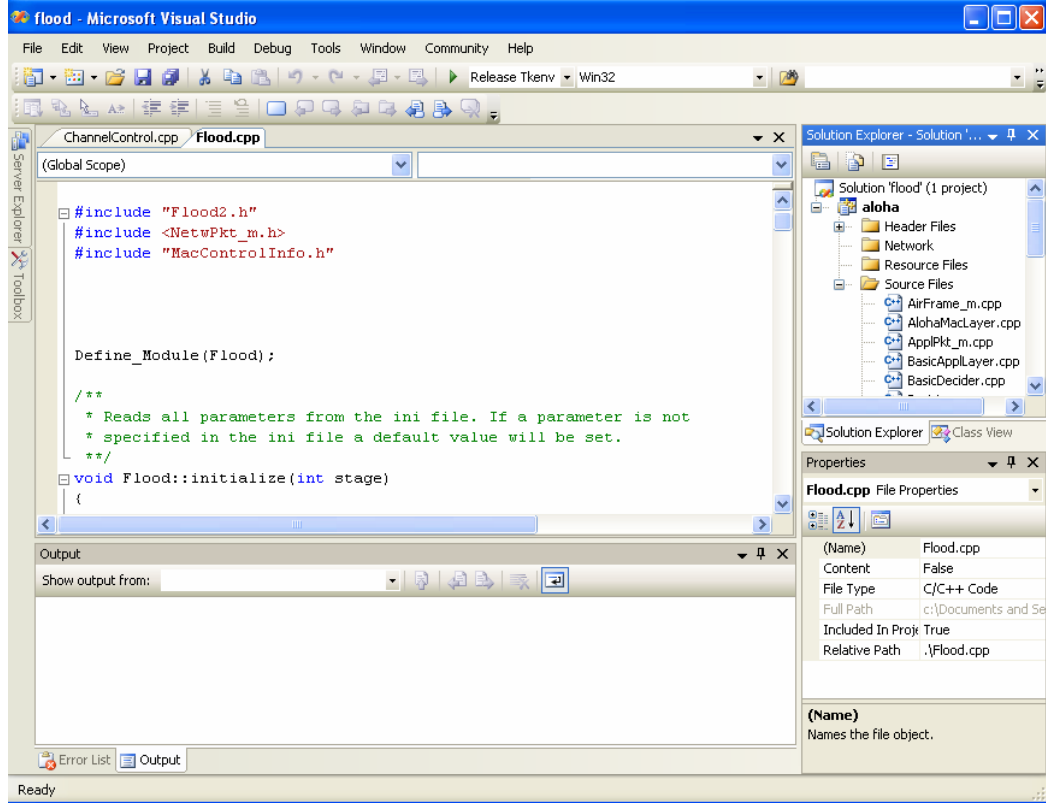
```
flood_sim.sink[9].mobility.x = 425  
flood_sim.sink[9].mobility.y = 330
```

```
flood_sim.sink[*].mobility.x=-1  
flood_sim.sink[*].mobility.y=-1
```

Benzetimle ilgili temel bilgiler girildikten sonra kullanılacak yönlendirme protokolünün kodu VC++'da derleyip çalıştırmamız gerekecektir. VC++ programını çalıştırıp bir proje açarız burada kullanılan flood.cc dosyaları Source Files kısmına kodumuzdaki header dosyaları da Header Files kısmına eklenerek Tkenv olarak build edilir. Şekil 5.5'de kodlar ve eklendiği kısımlar yer almaktadır. Flooding yönlendirme protokolünün algoritması Şekil 5.4'de belirtilmektedir.



Şekil 5.4. Flooding KAA yönlendirme protokolü algoritması



Şekil 5.5. VC++ arayüzü

### 5.3. Sonuç

Bu bölümde KAA modelleme ve benzetim araçları anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılan OMNeT++ modelleme ve benzetim yazılım aracının özellikleri açıklanmaktadır. Tez çalışmasında karşılaştırılan KAA yönlendirme protokollerinin sayısının çok olması hepsinin modellenmesini güç kılmaktadır. Bundan dolayı KAA yönlendirme protokollerinin modelleme ve benzetimine örnek olması bakımından Flooding yönlendirme protokolünün benzetimi yapılmaktadır. Flooding yönlendirme protokolünün algoritması çıkarılarak, VC++ yazılımı ile benzetimi yapılmaktadır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz haberleşme sistemleri üzerinde yapılan araştırma konularının başında kablosuz algılayıcı ağlar gelmektedir. Bu çalışmada kablosuz algılayıcı ağlar hakkında geniş bilgiler verilmekte, KAA'lar üzerinde çalışan yönlendirme protokolleri incelenerek karşılaştırılmaktadır. KAA'ların endüstriyel otomasyon, sağlık, haberleşme ve askeri alanlarda yaygın olarak kullanımının arttığı görülmektedir.

KAA'larda yönlendirme protokolü ağın performansını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla Ağ Katmanı'nda yerine getirilen yönlendirme çok büyük önem arz etmektedir. Ağ Katmanı'nda çalışan yönlendirme protokolleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmakta ve sınıflandırılmaktadır. KAA yönlendirme protokolleri veri merkezli, hiyerarşik, konum tabanlı ve servis kalitesi tabanlı olarak sınıflandırılmaktadır.

Ayrıca kullandıkları çalışma modellerine ve performans kriterlerine göre incelenerek kıyaslamaları yapılmaktadır. Bu karşılaştırmalara göre her düğümün aynı seviyede çalışmış olduğu veri merkezli yönlendirme protokolleri en yaygın olarak kullanılan protokollerdir. Hiyerarşik yönlendirme protokolleri ise veri iletiminin doğruluğunu garanti eden düğümlerin kendi aralarında kümelenmesi ile çalışan protokollerdir. Konum tabanlı yönlendirme protokolleri ise yönlendirme işlemi için konum bilgisine ihtiyaç duyarlar. Servis kalitesi kaynaklı yönlendirme protokolleri de veri iletiminde iletim kalitesini ve iletim akışının düzenli olmasını sağlarlar

KAA yönlendirme protokolleri sınıflandırılmalarına göre kıyaslandığında optimum olan ve enerji sarfiyatını düzenleyen veri merkezli yönlendirme protokolleri en verimli protokollerdir. Ayrıca kendi sınıflarında en yaygın olarak kullanılan PEGASIS, SPIN, GEAR ve SAR yönlendirme protokolleri tasarım hedefi, düğüm bilgisi ve çalışma modelleri açısından kıyaslanmaktadır. SPIN'in düğümlerin sahip olduğu enerji seviyesi bilgisi ve çalışma modellerinden sorgu yanıt, sürekli çalışma

ve enerji duyarlı çalışma modellerini kullanıyor olması en efektif KAA yönlendirme protokolü olmasını sağlamıştır.

KAA'larda kullanılan yönlendirme protokolünün enerjisi optimum kullanabilecek bir iletim tekniği ile çalışan, ağ yaşam süresinin maksimize edilebilen veri merkezli bir yönlendirme protokolünün daha verimli ve yaygınlaştırılabilirlik açısından daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Yapılan incelemeler ve değerlendirmeler ışığında, veri iletiminde güvenliği en üst düzeyde sağlayarak ve uçtan-uca veri iletim gecikmesini en aza indirerek enerji tüketimini en az seviyede tutan bir KAA yönlendirme protokolü geliştirilmesinin ileri çalışma konuları arasında olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

Akkaya, K., Younis, M., "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", *Elsevier Ad Hoc Networks*, Volume 3(3), (2005).

Akkaya, K., Younis, M., "An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks*, Providence, Rhode Island, (2003).

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., "Wireless Sensor Networks: A Survey", *Elsevier Computer Networks*, (2002).

Al-Karak, J. N., Kamal, A. E., "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", *IEEE Wireless Communications*, Volume 11, (2004).

Bandyopadhyay, S., Coyle, E., "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", *Proc. INFOCOM 2003*, Volume 3, (2003).

Braginsky, D., Estrin, D., "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks", *Proc. 1<sup>st</sup> Workshop on Sensor Networks and Applications*, Atlanta, USA, (2002).

Bulusu, N., Heidemann, J., Estrin, D., "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", *Technical Report 00-729*, Computer Science Department, University of Southern California, April, (2000).

Chang, J. H., Tassiulas, L., "Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks", *Transactions on Networking*, 12 (4), (2004).

Chu, M., Haussecker, H., Zhao, F., "Scalable Information Driven Sensor Querying and Routing for Ad Hoc Heterogeneous Sensor Networks", *The International Journal of High Performance Computing Applications*, pp. 293–313, (2002).

Ditzel, M., Langendoen, "D3: Data-centric data dissemination in Wireless Sensor Networks", *European Conference on Wireless Technology*, Paris, France, (2005).

Estrin, D., Govidan, R., Heidemann, J., Kumar, S., "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks", *ACM Mobicom'99*, Washington, USA, (1999).

Feng, J., Koushanfar, F., Potkonjak, M., "Sensor Network Architecture", *Handbook of Sensor Networks Compact Wireless and Wired Sensing Systems*, (2004).

He T., "SPEED: A Stateless Protocol for Real-time Communication in Sensor Networks", *Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems*, Providence, USA, May, (2003).

Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H., “Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, *Proc. 33<sup>rd</sup> Hawaii Intl. Conf. on System Sciences*, (2000).

Heinzelman, W., Kulik, J., Balakrishnan, H., “Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks”, *Proc. 5<sup>th</sup> ACM/IEEE Mobicom Conference (MobiCom '99)*, Seattle, USA, August, pp. 174-85, (1999).

Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., “Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks”, *Proc. of the ACM MobiCom'00*, Boston, USA, (2000).

Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Heidemann, J., Silva, F., “Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, February, (2003).

Johnson, D. B., *Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers*, pp. 153–181, Chapter 5, (1996).

Karl, H., Willig A., “Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks”, *Wiley*, (2005).

Kulik, J., Heinzelman, W. R., Balakrishnan, H., “Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks”, *Wireless Networks*, Volume 8, pp. 169-185, (2002).

Li, Q., Aslam, J., Rus, D., “Hierarchical Power-aware Routing in Sensor Networks”, *Proceedings of the DIMACS Workshop on Pervasive Networking*, May, (2001).

Lindsey, S., C.S. Raghavendra, K. Sivalingam, “Data Gathering in Sensor Networks Using the Energy Delay Metric”, *Proceedings of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, San Francisco, USA, April, (2001).

Lindsey, S., Raghavendra, C., “PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System”, *International Conference on Communications*, (2001).

Malanda, C., Suri, A., Kanchakarra, V., Izengar, S. S., Kannan, R., Duresi A., “Simulating Wireless Sensor Networks with OMNeT++”, *IEEE Computer*, (2005).

Manjeshwar, A., Agarwal, D. P., “APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, pp. 195-202, (2002).

Manjeshwar, A., Agarwal, D. P., “TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks”, *In 1<sup>st</sup> International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, April, (2001).

- Park, N., Kim, D., Doh, Y., Lee, S., Kim, J., “An Optimal and Lightweight Routing Minimum Energy Consumption in Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA'05), IEEE*, (2005).
- Perrig, A., Szewzyk, R., Tygar, J.D., Wen, V., Culler, D. E., “SPINS: security Protocols for Sensor Networks”, *Wireless Networks*, Volume 8, pp. 521-534, (2000).
- Pham, T., Eun, J. K., Moh, M., “On Data Aggregation Quality and Energy Efficient of Wireless Sensor Network protocols”, *Broadband Networks*, (2004).
- Qi, H., Iyengr, S. S., Chakrabarty, K., “Distributed Sensor Networks - A Review of Recent Research”, Journal of the Franklin Institute, *Elsevier Science*, (2001).
- Rahul, C., Rabaey, J., “Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Volume.1, Orlando, USA, pp. 350-355, March , (2002).
- Rodoplu, V., Ming, T. H., “Minimum Energy Mobile Wireless Networks”, *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, pp. 1333–1344, (1999).
- Schurgers, C., Srivastava, M. B., “Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks”, *The MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VA, (2001).
- Shah, R., Rabaey, J., “Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks”, *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Orlando, USA, March, (2002).
- Sohrabi, K., Pottie, J., “Protocols for Self-organization of a Wireless Sensor Network”, *IEEE Personal Communications*, Volume 7, Issue 5, pp 16-27, (2000).
- Stojmenovic, I., Lin, X., “GEDIR: Loop-Free Location Based Routing in Wireless Networks”, *International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems*, Boston, MA, USA, November, (1999).
- Subramanian, L., Katz, R. H., “An Architecture for Building Self Configurable Systems”, *Proceedings of IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, Boston, USA, August, (2000).
- Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N., Heinzelman, W., “A Taxonomy of Wireless Micro-sensor Network Models”, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Volume 6, Issue 2, pp 28-36, April, (2002).
- Varga, A., “OMNET++ Discrete Event Simulation System Version 3.1”, *OMNET++ (OMNEST)*, March, (2005).

Wang, Q., Hassanein, H., Xu, K., “A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks”, *Handbook of Sensor Networks Compact Wireless and Wired Sensing Systems, Chapter 9*, (2004).

Willkomm, D., Lobbers, M., “A Mobility Framework for OMNET++ User Manual”, *Version 1.0a4 TKN TU*, Berlin, (2005).

Xu, Y., Heidemann, J., Estrin, D., “Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing”, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 01)*, Rome, Italy, July (2001).

Yao, Y., Gehrke, J., “The COUGAR Approach to In-network Query Processing in Sensor Networks”, *SIGMOD Record*, September, (2002).

Ye, F., Chen, A., Liu, S., Zhang, L., “A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks”, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, pp. 304-309, (2001).

Ye, F., Luo, H., Cheng, J., Lu, S., Zhang, L., “A Two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM*, (2002).

Yu, Y., Estrin, D., Govindan, R., “Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Network”, *UCLA Computer Science Department Technical Report*, UCLA-CSD TR-01-0023, May, (2001).

## **EK-A: EK CD İçeriği**

KAA Flooding yönlendirme algoritması benzetim modelinin OMNET++ kodları CD'de yer almaktadır.

## **KİŞİSEL YAYINLAR**

Harmankaya, A. Osman., Demiray, H. Engin., Ertürk, İsmail., “Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokollerinin Enerji Tüketimi Açısından İncelenmesi”, *UMES* **2007**, sayfa: 20-24, Kocaeli, (2007).



## **ÖZGEÇMİŞ**

Ali Osman HARMANKAYA 1981 yılında Afyon ilinde doğdu. İlköğrenimini Hırka Köyü İlkokulu'nda, lise eğitimini ise Sandıklı Yabancı Dil Ağırlıklı Lise'de tamamladı. 1999 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Programından 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2003-2005 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2005 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Enformatik Bölümü'nde Okutman olarak görev yapmaktadır.