

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA
DOĞRU VERİ İLETİMİ VE SERVİS KALİTESİ İÇİN
ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMASI TASARIMI**

Yük. Müh. Erhan AKBAL

**Doktora Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN
ŞUBAT-2012**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DOĞRU VERİ İLETİMİ VE SERVİS
KALİTESİ İÇİN ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMASI TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Erhan AKBAL

(07113201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Ocak 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Şubat 2012

Tez Danışmanı :

Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK (A.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Burhan ERGEN (F.Ü)

ŞUBAT-2012

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında her aşamada desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN'e, sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yürütülmesi aşamasında tecrübelerini ve desteğini her aşamada gösteren ve yönlendiren, çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan Sayın Doç. Dr. H. Hüseyin BALIK'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tezle ilgili deneysel sonuçların elde edilmesi sürecinde laboratuvar imkanlarını sunan Trakya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümüne teşekkür ederim

Bu yola beraber çıktığımız doktora eğitimimin her sürecinde beraber çalışma fırsatı bulduğum tüm tez yazım sürecini beraber geçirdiğimiz Aytuğ BOYACI'ya, çalışmalarımnda desteğini esirgemeyen Oğuz ATA'ya ve emeği geçen bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın ve eğitim sürecimin her aşamasında yanımda olan ve beni destekleyen abim Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAL'a, annem ve babama sevgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak doktora eğitim sürecimin her aşamasında yaşadığım stresli ve yoğun günlerimde bana destek olan, gece gündüz evde olmamama göz yuman hayat arkadaşım eşim Fatma AKBAL'a ve tüm yaşadığım sıkıntıları unutmama neden olan, varlığıyla moral kaynağım olan canım oğlum Burak Efe AKBAL'a sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Erhan AKBAL

Elazığ - 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Literatürdeki Yeri	1
1.2. Tezin Amacı	3
1.3. Tezin Yapısı.....	4
2. AĞ SİSTEMLERİ.....	5
2.1. Giriş	5
2.2. Haberleşme ve Türleri	5
2.2.1. Kablolu Haberleşme	6
2.2.2. Kablosuz Haberleşme	7
2.3. Ağ Kavramı	7
2.4. Ağların Sınıflandırılması	8
2.4.1. Büyüklüklerine Göre Ağlar	9
2.4.2. Erişim Ortamına Göre Ağlar	10
2.5. Kablosuz Ağ Teknolojilerinin Gelişim Süreci	11
2.6. Kablosuz Ağ Teknolojileri	13
3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR	19
3.1. Giriş	19
3.2. Gelişim Süreci	19
3.3. Temel Kablosuz Algılayıcı Yapısı	23
3.3.1. İşlem Birimi.....	24
3.3.2. Bellek Birimi	25

3.3.3. İletişim Birimi	25
3.3.4. Algılama Birimi.....	27
3.3.5. Güç Kaynağı.....	28
3.4. Düğümler İçin Geliştirilmiş İşletim Sistemleri	29
3.5. Kablosuz Algılayıcıların Kullanım Alanları.....	29
3.6. Kablosuz Algılayıcı Ağların Mevcut Sorunları.....	30
3.6.1. Güç Sorunları.....	30
3.6.2. Yönlendirme Sorunları	31
3.6.3. Servis Kalitesi Sorunları.....	33
3.6.4. Güvenlik Sorunları	35
3.7. Algılayıcı Ağ Tasarımını Etkileyen Faktörler	36
3.7.1. Hata Toleransı.....	36
3.7.2. Ölçeklenebilirlik	37
3.7.3. Güvenlik	38
3.7.4. Maliyet.....	38
3.7.5. Sınırlı Donanım	38
3.7.6. KAA Topolojisi ve Ağ Altyapısı.....	40
3.7.7. Çevresel Ortam	42
3.7.8. Veri İletimi	42
3.7.9. Güç	43
3.8. KAA Mimari Yapısı	43
3.9. KAA’larda Yönlendirme Protokolleri	45
4. ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMALARI ve SERVİS KALİTESİ ÇALIŞMALARI	47
4.1. Giriş	47
4.2. Çoklu Yönlendirme Kavramı ve Gelişimi.....	47
4.3. Çoklu Yönlendirmenin Performans Üzerine Faydaları	49
4.4. Çoklu Yönlendirme Çalışmaları.....	49
4.4.1. Alternatif Yol Yönlendirmesi.....	50
4.4.2. Eşzamanlı Çoklu Yönlendirme.....	50
4.4.3. Enerji Farkındalıklı Yönlendirme.....	50
4.4.4. Kaynak Yönlendirme.....	51
4.4.5. Yayınım Yönlendirme	51

4.4.6. Sıra Atamalı Yönlendirme.....	52
4.4.7. Enerji Etkili İkinci Yol Yönlendirme	52
4.4.8. Çok Yollu Yönlendirme Üzerinden Eşzamanlı İletim	53
4.4.9. Çeşitli Yönlendirme Yollarından Birinin Rastgele Seçimi	54
4.5. Servis Kalitesi ve Doğru Veri İletimi Kavramları.....	54
4.6. Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları	56
4.6.1. Kablolu Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları.....	56
4.6.2. Kablosuz Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları	57
4.7. KAA Uygulamalarında Servis Kalitesi Gerekliliği	58
4.8. KAA’larda Servis Kalitesi Sınırlamaları.....	59
5. KAA BENZETİM VE DENEY ORTAMLARI	63
5.1. Giriş	63
5.2. KAA Benzetim Programları	63
5.3. Castalia Benzetim Programı	66
5.3.1. Giriş	66
5.3.2. Modüler Yapısı	68
5.3.3. Castalia Kullanımı	70
5.3.4. Yeni Modül Oluşturma Süreci.....	71
5.3.5. Castalia Sonuç Dosyalarının Kullanımı	74
5.4. DeneySEL Ortam	76
5.4.1. Deney Donanımlarının Tanıtılması	76
5.4.2. Kullanılan Deney Düzeneği.....	78
6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DOĞRU VERİ İLETİMİ VE SERVİS KALİTESİ İÇİN ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMASI TASARIMI.....	80
6.1. Giriş	80
6.2. Genel Sistem Yapısı	80
6.3. Tanımlamalar ve Kabuller	82
6.3.1. Tanımlamalar.....	83
6.3.2. Kabuller	84
6.4. Ağ Tanıma Süreci.....	84
6.4.1. ATS Algoritması	85
6.5. Çoklu Yol Belirleme Süreci	93
6.5.1. Sıralama Algoritması.....	96

6.5.2. Ayırık Yol Bulma Algoritması	99
6.6. Veri İletim Süreci	103
6.6.1. TD ile KD'nin İletişim için Anlaşması.....	105
6.6.2. YD' lerin Yol Tablolarının Oluşturulması	107
6.6.3. Verinin İletilmesi.....	109
6.6.4. Yol Kullanım Sürecinin Kontrolü	111
6.7. Uygulama ve Yönetim Süreci.....	114
6.8. Sonuç	115
7. UYGULAMALAR.....	117
7.1. Giriş	117
7.2. Veri Gönderim Sıklığının Servis Kalitesine Etkisi.....	117
7.3. Atlama Sayısının Servis Kalitesine Etkisi	119
7.4. DeneySEL Ortam ile Benzetim Ortamının Karşılaştırılması.....	121
7.5. Sistemdeki Algılayıcı Sayısının Servis Kalitesi Üzerine Etkisi	122
8. DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALARI.....	124
KAYNAKLAR.....	126
ÖZGEÇMİŞ	125

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) birçok algılayıcı düğümün bir araya getirilmesiyle kapasitesi yüksek ve birçok görevi yerine getirebilen yeni bir ortam olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde bu ağların kullanım alanları gitgide artmaktadır. Özellikle askeri alanlar en önemli kullanım alanlarından biridir. Bir noktadan elde edilmek istenen bilginin fiziki ve coğrafi koşullardan ötürü başka bir noktaya iletilmesinin mümkün olmadığı bir ortamda verinin iletilmesi için kablosuz algılayıcı ağlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ortam gereği bir bakım ve düzenleme yapmadan sistemin uzun süre hatasız ve en yüksek kalitede çalışması gerekmektedir. Bunun içinde kullanılacak algılayıcıların birbiriyle uyumlu ve minimum iş yükü ile çalışacak şekilde kullanılması gerekir. Bu işbirliği yönlendirme yöntemleri ile sağlanabilmekte ve KAA'ların en önemli sorunlarından birisi olarak görülmektedir. Yönlendirme temel olarak ağ kaynaklarını minimum kullanarak verinin maksimum servis kalitesi ile doğru ve etkin bir biçimde kaynaktan hedefe ulaştırılmasını sağlamalıdır.

Bu doktora çalışmasında doğru veri iletimi ve servis kalitesini göz önünde bulunduran bir çoklu yönlendirme modeli geliştirilmiştir. Doktora çalışmasında önerilen model içerisindeki yaklaşımlar, KAA'larda bulunan kısıtlamalara dikkat eden, servis kalitesi elde edecek ve verinin doğru ulaşmasını sağlayacak şekildedir. Bu amaçla yönlendirme için çoklu yollar kullanılarak verinin hedefe gitmesi garanti edilmiştir. Ayrıca çoklu yollar belirlendikten sonraki veri iletim süreci aşaması için yönlendirici düğümlerin işlem yükleri minimum seviyeye indirilerek servis kalitesi elde edilmiştir. Böylece veri iletim sürecinde tüm düğümler verinin iletilmesiyle ilgilenip diğer karar süreçleriyle ilgilenmeyerek etkin bir yönlendirme sağlamış olacaktır. Model içerisinde belirlenen amaçları sağlayacak ayrı algoritmalar oluşturulmuş ve yönlendirme sürecinin her aşamasında farklı servis kalitesi faydaları elde etmek amaçlanmıştır. Bu nedenle bu tez çalışması mevcut sınırlı kaynakları en verimli şekilde kullanarak KAA'ların servis kalitesi gereksinimlerini karşılayacak bir yöntem sunmaktadır.

Geliştirilen algoritma hem benzetim ortamında hem de deney seti üzerinde çalıştırılarak önerilen yöntemin doğruluğu ortaya konulmuştur. Bu algoritma ile algılayıcı sayısından bağımsız olarak %90'ın üzerinde bir doğru veri iletimi ve servis kalitesi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, yönlendirme algoritmaları, servis kalitesi, çoklu yönlendirme

SUMMARY

Multipath Routing Algorithm Design for Quality of Service and Accurate Data Transmission in Wireless Sensor Networks

Wireless sensor network (WSN), which is designed by combining several sensor nodes, is defined as a new high capacity platform that is capable of performing many tasks. Nowadays, usage area of these networks is gradually increasing. Especially military field is one of the major usage areas for these networks. Wireless network sensors are required to transmit a data from a point to another in which it is impossible to do so due to the physical and geographical conditions. The system must work in high quality and accurately for a long time without doing any disposition and maintenance as the need of the platform. Therefore, the sensors should be used in such a way that they will work in harmony and with the maximum workload. This cooperation is achieved through the routing methods and it is considered as one of the major problems of WSNs. Basically, routing should provide the transmission of data from the source to the destination accurately and efficiently with the maximum quality of service by using the network in minimum.

In this study, a multipath routing model is developed by considering the accurate data transmission and high quality of service. The approaches in the model suggested in this study take the limitations of WSNs into account, have a high quality of service and provide accurate data transmission. For this reason, transmission of data to the destination is assured by using multipath routing. In addition, for the process of transmission after identifying the multipath, quality of service is obtained by reducing the processing loads of routing nodes to the minimum. Thus, all the nodes will be engaged in transmission of data during the process without caring for other decision processes, so a more efficient routing will be achieved. Separate algorithms are formed for fulfilling other aims occurred in the model and it is aimed for having different quality of service in each stages of routing process. In consequence, this study offers a method that can satisfy the needs of quality in WSNs by using the existing limited sources in the most efficient way.

The accuracy of the suggested method is verified by testing the designed algorithm both in simulation and in the set of experiment. Accurate data transmission above the success rate of 90 % independent from the number of sensors and high quality of service is achieved by this algorithm.

Key words: Wireless sensor network, routing algorithm, quality of service, multipath routing

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Ağ sistemleri ile ilgili ele alınan konular	5
Şekil 2.2. Haberleşme kavramı	6
Şekil 2.3. Kablolu iletim ortamı türleri [26]	7
Şekil 2.4. Kablosuz iletişim ve elektromanyetik dalga formu [26]	7
Şekil 2.5. Bilgisayar ağ sınıflandırılması	8
Şekil 2.6. Kablosuz teknolojinin gelişim süreci	12
Şekil 2.7. Kablosuz ağ teknolojileri [26]	13
Şekil 2.8. ZigBee ağ topolojileri	17
Şekil 3.1. KAA ile ilgili ele alınan konular	19
Şekil 3.2. Genel bir kablosuz algılayıcı ağ yapısı [7]	20
Şekil 3.3. Kablosuz algılayıcı mimarisi	24
Şekil 3.4. Flaş bellek birimi mimarisi	25
Şekil 3.5. RF ön birim blok şeması	26
Şekil 3.6. Kablosuz algılayıcı düğümü işlevsel blok şeması	28
Şekil 3.7. Algılayıcı iç bileşen yapısı	39
Şekil 3.8. KAA altyapısı ve topolojisi [79]	40
Şekil 3.9. Düz ağ yapısı [69]	42
Şekil 3.10. Hiyerarşik ağ yapısı [69]	42
Şekil 3.11. Temel haberleşme mimari yapısı [7]	43
Şekil 3.12. Protokol katman yapısı [7]	44
Şekil 4.1. Çoklu yönlendirme algoritmalarında ele alınan konular	47
Şekil 4.2. Kaynak yönlendirme diyagramı	51
Şekil 4.3. Yayınım yönlendirme	52
Şekil 4.4. Birincil yol çevresindeki ayırık ve örgülü yollar	53
Şekil 4.5. Temel servis kalitesi modeli [15]	55
Şekil 5.1. KAA benzetim ortamlarında ele alınan konular	63
Şekil 5.2. Castalia modülleri ve bağlantılı yapısı	68
Şekil 5.3. Birleşik düğüm modülü	69
Şekil 5.4. Castalia program klasörleri	70

Şekil 5.5. Node klasörü içeriği	71
Şekil 5.6. Deney seti içeriği.....	77
Şekil 5.7. Kullanılan düğümler a) YD b) TD ve KD.....	78
Şekil 5.8. Kullanılan deney düzeneği	79
Şekil 6.1. Önerilen model içerisinde geliştirilen süreçler.....	80
Şekil 6.2. Sistem yapısı ve akış diyagramı	82
Şekil 6.3. Keşif yayınının yapısı.....	85
Şekil 6.4. Genel paket yapısı	85
Şekil 6.5. Yayın paketinin yapısı.....	86
Şekil 6.6. Yayın paketi gönderim kodu	86
Şekil 6.7. Mesaj tipleri ve karşılıkları.....	87
Şekil 6.8. GID güncelleme süreci	88
Şekil 6.9. YM güncelleme süreci.....	89
Şekil 6.10. YB güncelleme süreci	90
Şekil 6.11. Ağ tanıma süreci.....	91
Şekil 6.12. ATS sonundaki örnek yapı	93
Şekil 6.13. Çoklu yol belirleme süreci yapısı	95
Şekil 6.14. ÇYBS sürecinin kod parçası.....	96
Şekil 6.15. Sıralama algoritması akış şeması	98
Şekil 6.16. Sıralama algoritmasından elde edilen örnek YT	100
Şekil 6.17. Örnek AYBA işleyişi	101
Şekil 6.18. Elde edilen örnek ayırık YT	102
Şekil 6.19. Ayırık yol gösterimi	102
Şekil 6.20. Veri iletim sürecinin yapısı	104
Şekil 6.21. İSTEK mesaj yapısı.....	105
Şekil 6.22. CEVAP ve GÖNDER mesajı yapısı	105
Şekil 6.23. YD yol tablosu gösterimi	106
Şekil 6.24. Anlaşma sistemi	107
Şekil 6.25. Örnek yol tablosu oluşturma süreci	109
Şekil 6.26. İletişim veri paketi yapısı	110
Şekil 6.27. Veri iletimini gerçekleştiren kod	110
Şekil 6.28. YCM mesajının yapısı.....	112
Şekil 6.29. Örnek yol kullanım süreci kontrolü.....	113

Şekil 6.30. Başlangıç tanımlamalarının yapıldığı kod parçası	115
Şekil 7.1. Veri gönderim sıklığına göre başarılı veri gönderim oranları	118
Şekil 7.2. Atlama sayılarına göre başarı oranları: Deneysel Sonuç.....	119
Şekil 7.3. Atlama sayılarına göre başarı oranları: Benzetim sonuçları	120
Şekil 7.4. Deneysel ortam ile benzetimin karşılaştırma grafiği.....	121
Şekil 7.5. Algılayıcı sayılarına göre başarı oranları (Rastgele Dağılım).....	122

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. ZigBee teknolojisinin karşılaştırmalı özellikleri.....	16
Tablo 5.1. Benzetim programlarının karşılaştırılması [119].....	65
Tablo 5.2. Benzetim programlarının karşılaştırılması (Devamı)	66
Tablo 5.3. Klasör yapısı	72
Tablo 5.4. Sanal sınıflar	74
Tablo 6.1. ATS sürecinden elde edilen örnek tablo	94
Tablo 6.2. Örnek YT içeriği.....	97
Tablo 6.3. YM ye göre sıralanmış YT	99
Tablo 7.1. Farklı veri gönderim sıklığına göre başarı oranları	118
Tablo 7.2. Değişik Atlama sayılarına göre deneysel sonuçlar	119
Tablo 7.3. Değişik atlama sayılarına göre benzetim sonuçları	120
Tablo 7.4. Karşılaştırma tablosu	121
Tablo 7.5. Algılayıcı sayılarına göre başarı oranları (Rastgele Dağılım)	122

SEMBOLLER LİSTESİ

$\mu(R)$	: İletim yarıçapı içindeki düğüm sayısı
A	: Düğüm alanı
d	: İki düğüm arasındaki mesafe
d_0	: Referans düğüme olan mesafe
N	: Alan içindeki düğüm sayısı
n	: Sinyal bozulma katsayısı
R	: İletim çapı
$Rk(t)$	: Düğümün güvenilirliği
X_σ	: Sıfır ortalamalı Gauss değeri
$YM()$	: Yol maliyet değeri
λ_k	: Algılayıcı düğümdeki hata oranı
σ	: Standart sapma

KISALTMALAR

AP	: Access Point
AS	: Atlama Sayısı
ATM	: Asenkron Transfer Modu
ATS	: Ağ Tanıma Süreci
AYBA	: Ayırık Yol Bulma Algoritması
BES	: Bekleme Eşik Süresi
BR	: Basic Rate
CDMA	: Code Division Multiple Access
ÇY	: Çoklu Yönlendirme
ÇYBS	: Çoklu Yol Bulma Süreci
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum
EDR	: Enhanced Data Rate
FFD	: Full Functional Device
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
ID	: Identifier
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineer
IP	: Internet Protocol
KAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağ
KD	: Kaynak Düğüm
LAN	: Local Area Network
MAC	: Media Access Control
MAN	: Metropolitan Area Network
MANET	: Mobil Ad-Hoc Network
MT	: Mesaj Tipi
NED	: Network Description Language
PAN	: Personal Area Network
PDA	: Personal Digital Asistant
RF	: Radio Frequency
RFD	: Reduced Functional Device
SMS	: Simple Mesaj Service
TD	: Toplayıcı Düğüm
TDMA	: Time Division Multiple Access
VİS	: Veri İletim Süreci
WAN	: Wide Area Network
WAP	: Wireless Application Protocol
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Wireless Local Area Network
WPAN	: Wireless Personal Area Network
WWW	: World Wide Web
YB	: Yol Bilgisi
YC	: Yol Canlılığı
YCM	: Yol Canlılık Mesajı
YD	: Yönlendirici Düğüm
YM	: Yol Maliyeti

YP : Yayın Paketi
YS : Yol Sayısı
YT : Yol Tablosu

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Literatürdeki Yeri

Son yıllarda kablosuz haberleşme alanında ortaya çıkan gelişmeler ve çok küçük boyutlu donanımların çok düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetlerle üretilebilmesi kablosuz algılayıcılarla ilgili çalışmaların artmasına neden olmuştur. Kablosuz algılayıcılar konumlandırıldığı ortamdaki çeşitli çevresel değerleri algılayabilmekte, çeşitli hesaplamalar yapabilmekte ve birbirleriyle haberleşebilmektedir. Düşük kapasite ile bu işlemleri yerine getirmelerine rağmen çok sayıda algılayıcının bir araya getirilmesiyle kapasitesi yüksek ve birçok görevi yerine getirebilen yeni bir ortam elde edilmektedir. Elde edilen bu ağ ortamına Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) denilmektedir [1-3]. Ülkemizde KAA 'lar için farklı isimler önerilmiştir. Bunlar Telsiz Duyarga Ağlar [4], Kablosuz Duyarga Ağlar [5], Telsiz Algılayıcı Ağlar [6] şeklindedir. Fakat genel literatürdeki karşılığı "Wireless Sensor Network" olarak geçmektedir [7-9]. Ağ içerisindeki algılayıcılar bulundukları ortamdaki sıcaklık, basınç, nem, hava değişimleri, hareket, ses gibi değerleri ölçebilmekte ve bu bilgileri diğer algılayıcılara yada merkezi bir toplayıcı istasyona iletebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı askeri alanlarda örneğin sınır güvenliği [10], hareket izleme ve sivil alanlarda örneğin orman yangınlarının tespiti [11], çevre kirliliği analizi gibi [12] birçok kullanımı bulunmaktadır.

KAA birçok uygulama alanında kullanılmasına rağmen sınırlı enerji kaynağına, sınırlı işlem kapasiteleri ve sınırlı haberleşme yeteneklerine sahip olmalarından dolayı kullanımlarında çeşitli kısıtlamalar ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile bu alanda çalışma yapılması durumunda bu kısıtlamaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. KAA'lara ait bu özellikler, noktadan noktaya iletişim ağlarına ve MANET'lere (Hareketli Plansız Ağlar – Mobile Ad-Hoc Network) büyük benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak geliştirilen birçok yönlendirme yönteminin KAA'lar üzerinde de kullanılması mümkün olmuştur [13].

Büyük alanlara yerleştirilen ve sınırlı kaynaklara sahip algılayıcı elemanların kullanımı ve kaynakları değiştirilememesinden dolayı araştırmacılar KAA'lar üzerinde uygulanacak iletişim yöntemleri [14], yönlendirme algoritmaları [15] ve protokolleri [9] üzerine odaklanmıştır. Böylece mevcut kaynakların etkin kullanımını sağlayarak ağ performansı üzerine olumlu etkiler elde etmek amaçlanmıştır.

KAA uygulamalarında servis kalitesi (Quality of Service- QoS) gereksinimi de önemli bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle gerçek zamanlı durum tespiti ve hızlı bilgi alınması gerekli olan yerler gibi kullanımlarında gecikmenin olmaması ve kullanılan bant genişliğinin garanti edilmesi gerekmektedir [16]. Çevre gözlemlene gibi uygulamalarda verinin hassasiyet seviyesi önceden garanti edilebilmeli ve uzun bir gözlemlene zamanı elde edilmesi gerekmektedir [17]. Ayrıca servis kalitesi gereksinimleri uygulamaya göre farklı kavramlar olabilmektedir. Paket kayıpları, kararsızlık, gecikme, kapsama alanı, sistem yaşam ömrü, güvenlik, veri gizliliği gibi kavramlarda servis kalitesi kapsamına giren diğer parametrelerdir [18], [19].

KAA'larda kullanılan haberleşme sistemi genellikle çok noktadan atlamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Çok noktalı haberleşmede bir algılayıcı düğüm algıladığı veriyi toplayıcı düğüme iletmek için diğer algılayıcıları kullanmaktadır. Veri hedefe komşu düğümler üzerinden iletilerek ulaştırılır. Bu nedenle komşu düğümlerin gerçekleştireceği işlemler verinin iletilmesi sürecine büyük bir etki göstermektedir. Bunu sağlamak içinde algoritma tasarımında verinin iletimi aşamasında yönlendirici düğümlerin çok fazla işlem yapmaması gerekmektedir. Kaynak algılayıcının veriyi iletim sürecinde hızlı ve etkili bir şekilde veriyi hedefe göndermesi gerekir. Belirtilen servis kalitesi kavramlarının elde edilmesi yada enerji kullanımı gibi kavramları dikkate alarak en iyi yol üzerinden verinin hedefe ulaştırılması problemi yönlendirme probleminin temelini oluşturmaktadır [20]. Bu nedenle yönlendirme algoritmaları tasarımında en iyi yolların belirlenme sürecinde gerekli işlemler yapılarak yollar belirlenmeli ve iletim sürecine karmaşık işlemler bırakılmamalıdır.

Genel olarak bir kaynak düğüm ile bir toplayıcı düğüm arasında verinin diğer düğümler üzerinden iletilmesine yönlendirme denilmektedir [9]. Eğer kaynak ile toplayıcı arasında verinin iletilmesi istenen kriterlere göre belirlenen bir yol üzerinden yapılıyorsa buna tek yöllü yönlendirme, kaynak ile toplayıcı arasında alternatif birden fazla yol belirlenip verinin istenen duruma göre farklı yolları kullanarak iletilmesi durumuna ise çok yöllü yada çoklu yönlendirme denilmektedir [21]. Her iki yönlendirme yönteminin de kullanıldığı ağ ortamına ve elde edilmek istenen performans kısıtlarına göre kullanım alanları farklılık göstermektedir. Çok yöllü yönlendirme, tek yöllü yönlendirmeye göre verinin iletilmesini garanti etme, ağın performansını artırma, kaynakların etkin kullanımı ve ağ dinamiklerinin göz önünde bulundurabilme özellikleriyle üstündür [9].

1.2. Tezin Amacı

Mevcut literatürdeki çoklu yönlendirme ve servis kalitesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Çoklu yönlendirme çalışmaları ile servis kalitesi çalışmaları ayrı olarak gerçekleştirilmiştir [9]. KAA’larda servis kalitesini dikkate alan ve kabul görmüş iki çalışma mevcuttur [22], [23]. Her iki çalışmada da yönlendirme yaparken servis kalitesi elde etmek amaçlanmıştır ve kısıtlı bakış açısı ile ağ performansını analiz etmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar genellikle düğüm bazlı ya da kaynak bazlı olarak gerçekleştirilmiştir. Buda kaynak ile toplayıcı düğüm arasındaki yönlendirme yapılırken yönlendirici düğümün ve kaynak düğümün işlem yükünü arttırarak servis kalitesinden ödün vermeye neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda toplayıcı düğümün ağa hakim olduğu ve tüm kararlarda yetkili olduğu, diğer düğümlerin çok düşük işlem yaparak yönlendirme sürecine dahil olduğu bir model önerilmiştir. Böylece servis kalitesi kavramları üzerinde olumlu etki göstermesi, düşük işlemci kullanımı, düşük bant genişliği kullanımı, doğru ve yüksek hızlı veri iletimi elde etmek amaçlanmıştır.

Amaçlanan faydaların sağlanabilmesi için KAA’larda bulunan sınırlamalar göz önünde bulundurularak bir çoklu yönlendirme algoritması önerilmiştir. Model çoklu yolların belirlenme sürecinde servis kalitesi kavramlarını göz önünde bulundurmaktadır. Bu nedenle yol belirleme sürecinde çeşitli yaklaşımlar geliştirilerek servis kalitesi elde edilmiştir. Ayrıca yollar belirlendikten sonraki veri iletim süreci aşaması için yönlendirici düğümlerin işlem yüklerini minimum seviyeye indirmeyi amaçlamıştır. Böylece veri iletim sürecinde tüm düğümler verinin iletilmesiyle ilgilenip diğer karar süreçleriyle ilgilenmeyerek etkin bir yönlendirme sağlamış olacaktır. Önerilen çoklu yönlendirme algoritması sadece verilerin yönlendirilmesi ve iletilmesi süreciyle ilgilenmektedir. Böylece KAA’lar üzerinde geliştirilecek bir protokolün yönlendirme kısmında kullanılabilecektir. Model içerisinde belirlenen amaçları sağlayacak ayrı algoritmalar oluşturularak yönlendirme sürecinin her aşamasında farklı servis kalitesi faydaları elde etmek amaçlanmıştır. Bu nedenle bu tez çalışması mevcut sınırlı kaynakları en verimli şekilde kullanarak KAA’ların servis kalitesi gereksinimlerini karşılayacak bir yöntem sunmayı amaçlamaktadır.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması sekiz bölümden oluşmaktadır. Tezin ilk bölümü giriş bölümü olup tezin literatürdeki yeri, amacı ve ileriki bölümlerde açıklanacak olan konuların neler olduğundan bahsedilmektedir.

İkinci bölümde ağ sistemleri kavramları açıklanacaktır. Ağ kavramı içerisine giren teknolojiler ve ağ ortamlarının sınıflandırmaları tanıtılacaktır. Ağ teknolojilerinin tarihsel gelişimi verilerek çalışmanın kapsamına girdiği bölüm açıklanacaktır.

Üçüncü bölümde kablosuz algılayıcı ağ kavramı üzerinde durulacaktır. Kablosuz algılayıcıların gelişim süreci, yapısal birimleri, kullanım alanları ve literatürdeki sorunların ve tasarımını etkileyen sınırlamalarının neler olduğu gösterilecektir.

Dördüncü bölümde çoklu yönlendirme kavramı açıklanarak, ne gibi faydaları olduğu belirtilmiştir. Sonrasında kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilen çoklu yönlendirme çalışmalarının neler olduğuna yer verilmiştir. Son olarak servis kalitesi ile ilgili çalışmalar, kabuller ve sınırlamaların neler olduğu açıklanmıştır.

Beşinci bölümde kablosuz algılayıcı ağ uygulamalarının test ve bilgisayar ortamında benzetilmesi için kullanılabilecek deney düzenekleri ve benzetim programları tanıtılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız Castalia benzetim programının temel yapısı ve kullanım standartları gösterilmiştir. Ayrıca kullandığımız deney seti tanıtılarak kullanılan model yapısı gösterilmiştir.

Altıncı bölümde doktora çalışmasında geliştirilen servis kalitesi tabanlı çoklu yönlendirme algoritması ayrıntılı olarak açıklanarak modelin esasları ortaya konmuştur. Modelin ortaya atılma amaçları açıklanarak neden böyle bir modele ihtiyaç duyulduğu konusunun anlaşılmasına çalışılacaktır. Model içerisindeki tanımlamalar ve kabuller verildikten sonra, kullanılan dört ana süreç olan ağ tanıma süreci, çoklu yol belirleme süreci, veri iletim süreci, uygulama ve yönetim sürecinin işleyişi gösterilmiştir.

Yedinci bölümde önerilen modelin servis kalitesi üzerine etkileri, benzetim ortamında ve deneysel ortamda test edildikten sonra gerçek ortama yakın düğümler için sonuçlar verilecektir.

Sekizinci ve son bölümde yapılan çalışmanın literatüre ne gibi bir etki gösterdiği değerlendirilerek, gelecekte bu alanda yapılması düşünülen çalışmalardan bahsedilecektir.

2. AĞ SİSTEMLERİ

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasının konusu kablosuz algılayıcı ağlarda doğru veri iletimi ve servis kalitesi için çoklu yönlendirme algoritma tasarımı olduğundan çalışmanın kolay anlaşılabilmesi için öncelikli olarak haberleşme üzerinde durulmalı ve devamıyla ağ kavramı açıklığa kavuşturulmalıdır.

Bu bölümde ilk olarak haberleşme ve türleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra ağ kavramına geçilmiş ve bu kapsamda ağ sınıfları ile başlanmış, daha sonra ağlarda kullanılan teknolojilere geçiş yapılmıştır. Bölümün sonunda ise kablosuz ağ teknolojileri ve bunların gelişim süreçleri açıklanmıştır. Bu bölümde anlatılan konular Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir.



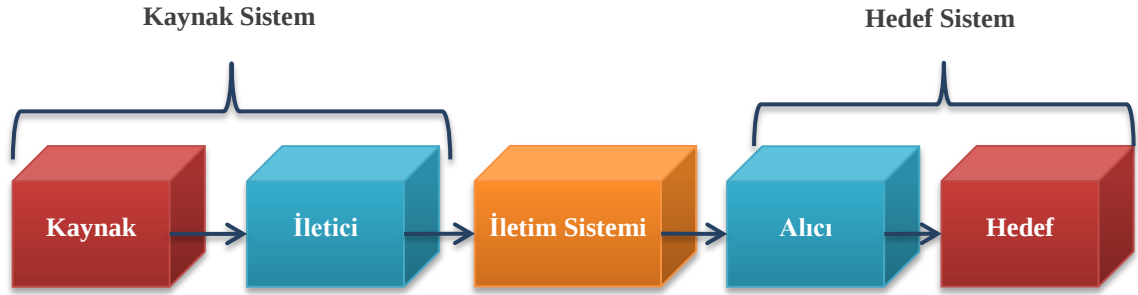
Şekil 2.1. Ağ sistemleri ile ilgili ele alınan konular

2.2. Haberleşme ve Türleri

Haberleşme mühendislik açısından ilk olarak telgraf ve ses sinyallerinin iletildiği telefon ile başlamıştır. 1886 yılında Guglielmo Marconi ilk telgraf sistemin geliştirmiş, sonrasında 1910'de İngiltere ile Kanada arasında okyanus ötesi radyo sinyali iletimi başarılmıştır [24]. Bu sinyalin iletilmesi kablosuz teknolojinin gelişmesinde önemli bir temel oluşturmuştur. Bu süreçten sonra radyo, tv, radar, cep telefonu ve benzeri haberleşme sistemleri hızla gelişmeye başlamıştır.

Şekil 2.2' de tipik bir haberleşme sisteminin temel birimleri gösterilmiştir. Sistem de öncelikle kaynak tarafından üzetilen bilgi işareti iletim ortamında iletilebilmesi için uygun hale getirilir. Bu işleme modülasyon denir. Ortam dönüştürücü yardımı ile modüle edilmiş

sinyal iletileceği ortama verilir. İletim ortamı olarak bakır, hava ve fiber optik teknolojisi kullanılır. İletim ortamının gürültüsüne bağlı olarak belirli bozulmalara ve zayıflamalara uğrayarak sinyal alıcı birime ulaşır. Burada seçici alıcı sinyali belirli filtrelerden geçirerek kullanılabilir hale getirir. Sonra olarak sinyal uygun işlemlerde geçirilerek orjinal bilgi sinyal formuna yakın bir sinyal elde edilmeye çalışılır. Bu işleme demodülasyon denir [25].



Şekil 2.2. Haberleşme kavramı

Haberleşme kavramı kapsamı geniş bir konudur. Bu kapsam içerisinde haberleşme yöntemleri de çeşitli sınıflara ayrılır. Genel kabul görmüş sınıflandırma yöntemleri sinyal türüne ve iletim ortamına göre yapılmaktadır.

Sinyal türüne göre yapılan sınıflandırma yöntemlerinde sinyalin yapısına bakılır. Bu şekil sınıflandırmada iki tür haberleşme sistemi bulunmaktadır. Bunlar analog ve sayısal haberleşmedir.

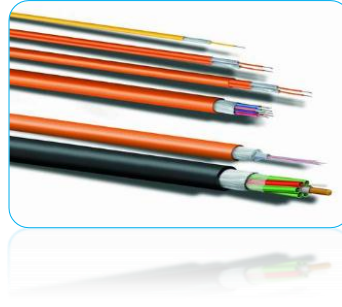
İletim ortamına göre sınıflandırma yöntemlerinde ise sinyalin iletildiği ortama bakılır. Haberleşmede bilginin üretilip çıktığı kaynak ile bilginin gönderilmek istendiği hedef arasında bir iletişim kanalı vardır. Haberleşme bu iletişimin gerçekleştirildiği medyaya göre gruplandırılmaktadır. Bu medya kimi zaman bakır, fiber optik kablo vb. gibi kablolu olabileceği gibi kimi zamanda hava veya boşluk gibi kablosuz olabilmektedir [25]. Bu çalışmada kullanılan haberleşme yöntemi kablosuz haberleşmedir.

2.2.1. Kablolu Haberleşme

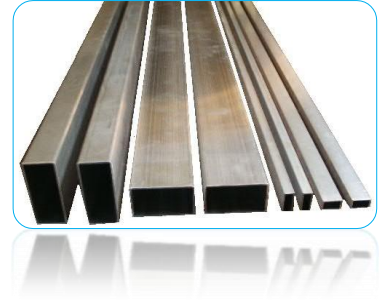
Bilgi iletimi için metal iletken, boşluk tipi dalga klavuzları veya fiber optik kablolardan faydalanılır. İletişim elektromanyetik veya optik dalgalar aracılığıyla bu ortamlar üzerinden gerçekleştirilir. Şekil 2.3' de yaygın olarak kullanılan iletim ortamları gösterilmiştir.



a) Koaksiyel Kablo



b) Fiber Optik Kablo

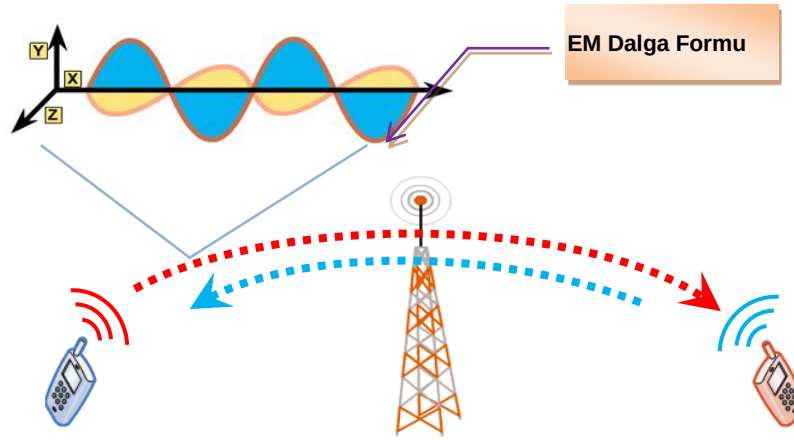


c) Dalga Yönlendirici

Şekil 2.3. Kablolu iletim ortamı türleri [26]

2.2.2. Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşmede iletim kanalı olarak hava veya boşluk kullanılır. İletişim elektromanyetik dalgalar şeklinde bu ortamlar üzerinden gerçekleştirilir. Kablosuz ortam, kullanıcılara bağlanabilirlikten ödün vermeden hareket etme kabiliyeti sağlar. Konum kısıtlamalarını ortadan kaldırdığı için iletişim unsurları fiilen herhangi bir yerde olabilir. Şekil 2.4’de kablosuz iletişim modeli gösterilmiştir [26].



Şekil 2.4. Kablosuz iletişim ve elektromanyetik dalga formu [26]

2.3. Ağ Kavramı

Ağ (Network), çok sayıda canlı veya cansız varlığın bir amaç doğrultusunda bir araya gelmesi ve birbirileri ile etkileşimleri sonucu oluşan sistemler bütünüdür. Günlük hayatta çevremizde çok farklı türlerde ağ mevcuttur. Örneğin; insan vücudunda yer alan ağlara örnek olarak sinir sistemi, kalp damar sistemi ve sindirim sistemini gösterilebilir. Öte yandan çevremizde karşılaşılabilecek ağlar da vardır. Şehir içme suyu şebekesi, telefon şebekesi, kara, deniz ve havayolları taşıma sistemleri vb. bu tip ağlara örnek verilebilir.

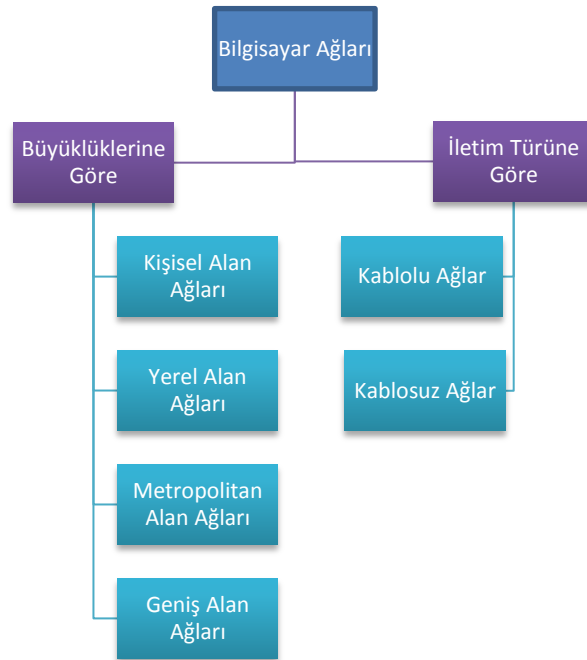
Ağlara örnek verilecek olursa, bir kişinin cep telefonu ile kablosuz olarak istediği noktadan iletişim kurabilmesi, bir bilgisayarın dünyanın herhangi bir noktasındaki bir bilgisayara erişebilmesi yada bir orman içerisindeki belirli noktalardaki sıcaklık değerlerinin ölçülüp kontrol edilmesi gösterilebilir. Tüm sistemlerde iletişim kuran ağıta benzersiz bir kimlik numarası atanır. Bu numara cep telefonları için cep telefonu numarası, bilgisayar veya benzeri donanımlar için IP numarası, sıcaklık algılama sürecindeki algılama donanımları için benzersiz algılayıcı ID numaralarıdır. Kimlik numaraları ile tüm donanımlar ağ içerisinde tanınabilmekte ve iletişim kurulmaktadır.

2.4. Ağların Sınıflandırılması

Bilgisayar ağları kendi içinde değişik sınıflandırmalara tabi tutulurlar. Sınıflandırma yapısı Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bunlar:

- Ağların hizmet verdikleri alanların büyüklüklerine göre
- Kullanılan erişim ortamına göre

sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.5. Bilgisayar ağ sınıflandırılması

2.4.1. Büyüklüklerine Göre Ağlar

Büyüklüklerine göre ağları sınıflandırmada en önemli ölçüt verinin ortam üzerinde iletileceği mesafedir. Bu ölçüte göre ağlar 4 farklı grupta incelenmektedir. Bunlar kişisel alan ağları, yerel alan ağları, metropolitan alan ağları ve geniş alan ağlarıdır [25], [27-29].

Kişisel Alan Ağı (Personel Area Network - PAN): Daha çok kişinin kendisini çevreleyen “Kişisel İşletim Alanı (Personal Operating Space - POS)” olarak adlandırılan alan içerisinde kurulan ağlardır. POS kavramı literatürde kişiyi 10m uzaklığa kadar çevreleyen bir alan olarak tanımlanmaktadır. Bu tür ağlar ev ya da küçük iş yerlerinde birkaç bilgisayar ve benzeri çevre birimlerinden oluşan ağlardır.

Yerel Alan Ağları (Local Area Network - LAN): Bina, okul, hastane, kampus gibi sınırlı bir coğrafik alanda kurulan ve çok sayıda kişisel bilgisayarın yer aldığı ağlardır. Normalde tek tür erişim ortamına eğilim gösterirler ve genellikle 10km²'lik bir alanı aşmazlar. LAN'lar, kamu kurum ve kuruluşlarında, şirketlerde, üniversitelerde, konferans salonlarında ve benzeri pek çok yerde kullanılmaktadır. Bir LAN içinde çok sayıda bilgisayar, yazıcı, çizici, tarayıcı ve diğer bilgisayar çevre birimleri yer alabilir.

Metropolitan Alan Ağı (Metropolitan Area Network - MAN): Bir şehri kapsayacak şekilde yapılandırılmış iletişim ağlarına veya birbirinden uzak yerlerdeki yerel alan ağlarının (LAN) birbirileri ile bağlanmasıyla oluşturulan ağlara denilmektedir. LAN'lerden daha geniş ağlardır. Metropolitan olarak adlandırılmasının sebebi genelde şehrin bir kısmını veya tamamını kapsamasındandır. Ağa bağlı her bölge arasında tam erişim gerekmediğinden değişik donanım ve aktarım ortamları kullanılır. MAN'larda genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır.

Geniş Alan Ağı (Wide Area Network - WAN): Dünya çapında yüzlerce veya binlerce kilometre mesafeler arasında iletişimi sağlayan ağlara denilmektedir. Aralarında uzun mesafe olan LAN ve MAN'ların birleşmeleriyle meydana gelir. MAN'dan geniş her türlü ağı kapsar. Günümüzde bilinen en meşhur WAN Internet'tir. Genelde WAN'lar için iki ayırım yapılır. Bunlar;

- Enterprise WAN: Bir kuruluşun tüm LAN'larını bağlar. Çok büyük ya da bölgesel sınırları olan ağları kapsar.
- Global WAN: Tüm dünyayı çevreleyen bir ağ olabileceği gibi, birçok ulusal sınırları ve pek çok uluslararası kuruluşun ağını kapsar.

2.4.2. Erişim Ortamına Göre Ağlar

Bilgisayar ağ sistemleri ağ içerisindeki cihazlar arasındaki iletişim ortamına göre sınıflandırılır. Bu kapsamda kablolu ve kablosuz ağ olarak iki ağ yapısı mevcuttur. Kablolu ağlar iletişimlerini bakır, fiber gibi kablo üzerinden gerçekleştirmekte, kablosuz ağlar ise iletişimi çeşitli kablosuz veri iletimi yöntemleriyle sağlamaktadır.

Kablolu Ağlar: Kablolu bilgisayar ağlarında, cihazlar arasındaki bağlantı fiziksel olarak kullanılan (bakır veya fiber optik gibi) kablolar aracılığıyla gerçekleştirilir. Kullanılan kablonun karakteristik özellikleri iletişimin hızını ve şeklini etkiler. Bakır kablolar daha çok ekonomik oluşları sebebiyle kısa mesafelerde ve bina içi uygulamalarda tercih edilirken her türlü elektriksel girişimden etkilenmek gibi bir dezavantajları vardır. Buna karşın uzun mesafelerde ve binalar arası kullanımda fiber kablolar tercih edilir. Bu kablolarda bilgi ışık üzerinden taşındığından hiç bir elektriksel girişimden etkilenmezler. Ancak buna karşın bakır kabloları göre pahalıdırlar [24], [30].

Kablosuz Ağlar: Birden fazla bilgisayar veya sayısal cihazın birbirleriyle kablosuz veri iletişimi sağlamalarıyla oluşan ağlardır. Kablolu teknolojilere kıyasla birçok üstünlüğü bulunan kablosuz iletişim teknolojileri gelişimini 1983 yılında hücresel telefonların çıkmasıyla sürdürmüş ve 1990'lı yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur. RF'in yeniden keşfi olarak adlandırılan bu gelişmeler, hem GSM gibi ses iletişiminde hem de veri iletişiminde yaşanmıştır. Özellikle veri iletişiminde yüksek veri hızlarına ulaşılması, kablosuz teknolojiyi yaygın olarak kullanılır hale getirmiştir. Bu ağlar; özel amaçlı, eğitim amaçlı, ulusal veya halka açık olarak kurulabilirler [24], [30].

Genelde kablosuz ağlarda kullanılan aygıtlar, taşınabilir bilgisayar, el bilgisayarı, kişisel dijital yardımcı (PDA), cep telefonu, kalemli bilgisayar ve ağrı cihazları sayılabilir. Bu tür cihazların kablosuz olarak kullanılması birçok kolaylık sağlar. Örneğin cep telefonu kullanıcıları, e-postalarına erişmek için cep telefonlarını kullanabilirler. Taşınabilir bilgisayarlarla seyahat edenler, hava alanlarında, tren istasyonlarında ve diğer genel noktalarda kurulu “Erişim Noktaları (Access Point)” aracılığıyla internete bağlanabilirler.

Çalışmamızın içinde girdiği konuda kablosuz ağlar kavramıdır. Bundan sonraki bölümde kablosuz ağlar ve çalışmamızın konusu olan kablosuz algılayıcı ağlar hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

2.5. Kablosuz Ağ Teknolojilerinin Gelişim Süreci

Kablosuz ağ teknolojilerinin gelişimi ilk bölümde anlatıldığı gibi Kanada ile İngiltere arasında yapılan iletişimle başlamıştır. *Marconi'nin* kablosuz telgraf sistemiyle kablosuz veri iletişim teknolojisi gerçekleştirilmesi sürecin hızlanmasına büyük katkıda bulunmuştur. Yıllara göre gelişim süreci ise şöyle devam etmiştir [31].

1920'li yıllarda radyo alıcı ve verici sistemlerinin kullanılmaya başlanması ve taşınabilir radyoları ve gezici radyolara öncülük etmiştir. Radyo teknolojisi; radyo, televizyon yayınları ve 2. Dünya Savaşında kullanılan sırt telsizleri ile olgunlaşmıştır [26].

1940'lı yıllarda hücre teknolojisi geliştirilmiştir. Böylece radyo frekans hizmet alanları hücrelere bölünerek gürültü ve parazitlerden azaltılarak kapasiteleri artırılmıştır. Bu gelişme günümüzde kullandığımız geniş alan ses iletişim sistemlerini ve kablosuz yerel ağlarının iletişim temellerini oluşturmuştur [31].

1957 yılında ilk uydunun dünya yörüngesine gönderilmesiyle uydular iletişim teknolojilerinde aktif rol oynamaya başlamışlardır.

1969 yılında Federal İletişim Komisyonu kurularak radyo frekans bandı mobil telefonlara tahsis edilmiştir. Böylece mobil telefonların gelişimi başlamıştır.

1970'li yıllarda POCSAG (*Post Office Code Standardization Advisory*) sayısal sayfalama kodu standardı geliştirilmiştir. Buda beraberinde AT&T firmasının hücre sistemi kullanan ilk mobil telefon servisini geliştirip hizmete sokmasını sağlamıştır [32].

1987 yılında FCC, 800 MHz hücre spektrumunda yeni teknolojilerin kullanılmasına izin vererek ilk dijital hücre yayınının (*CDMA – Code Division Multiple Access, TDMA – Time Division Multiple Access ve GSM – Global System for Mobile*) Birleşik Devletler'de test edilmesini sağladı. Bu test sesli mesaj ve kısa mesaj servisleri kullanımını sağladı [33].

1990'lı yıllarda kullanıcıların hareketlilik ve kablosuz kullanım rahatlıkları nedeniyle kablosuz teknolojilere olan ilgisi iyice artmıştır. Kablosuz teknolojilerin kullanımında yaşanan talep internet teknolojilerindeki gelişme kablosuz ses hizmetlerinin başta Amerika ve diğer ülkelerde yaygınlaşmasına yol açmıştır. Kişisel kablosuz veri hizmetleri ele alınacak olursa; bunlar: kısa mesaj servisi (SMS), kablosuz uygulama protokolü (WAP), *ReFlex, Bluetooth, i-Mode* ve *802.11* ile örneklendirilebilir [34], [35].

1990'lu yılların ikinci yarısı ile 2000'li yılların başlarına kadar maliyetlerin düşmesi, internet üzerinden verilen hizmetlerin artması bu alana olan ilgiyi arttırmıştır. İnternet kullanıcı sayısının en çok arttığı bu dönemde web hizmetlerini ve elektronik kavramları ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda WWW (World Wide Web) standartları oluşturulmuştur

[36]. Ayrıca yerel alan ağları ve kablosuz ağların kullanımı yaygınlaşmıştır. Artan kullanım oranlarıyla beraber yüksek hızlı kablosuz bağlantı hizmetleri sunulmuştur.

2000’li yılların başından günümüze kadar olan süreçte cep telefonu ve benzeri taşınabilir aygıtların artmasıyla kişilerin internet kullanım oranı çok hızlı bir artış göstermiştir. Buna paralel olarak kablosuz teknolojilerde büyük bir gelişim göstererek 3G hızlarında iletişim frekansları kullanılmaya başlanmıştır. 2000 li yılların sonundan itibaren kablosuz teknolojilerin gelişimleri ile beraber algılayıcı teknolojisi de hızla gelişim göstermiştir. Bununla beraber kablosuz algılayıcı kullanımı da bu yıllarda ağırlık kazanmıştır. Askeri ve gözlemsel alanlarda artan ihtiyaçlar kablosuz algılayıcılar kullanılarak oluşturulan kablosuz algılayıcı ağların yaygın kullanımına sebep olmuştur [7]. Kablosuz sensör ağ yada kablosuz algılayıcı ağ olarak adlandırılan sistemler kablosuz teknolojilerdeki gelişmelere paralel olarak son yıllarda güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.



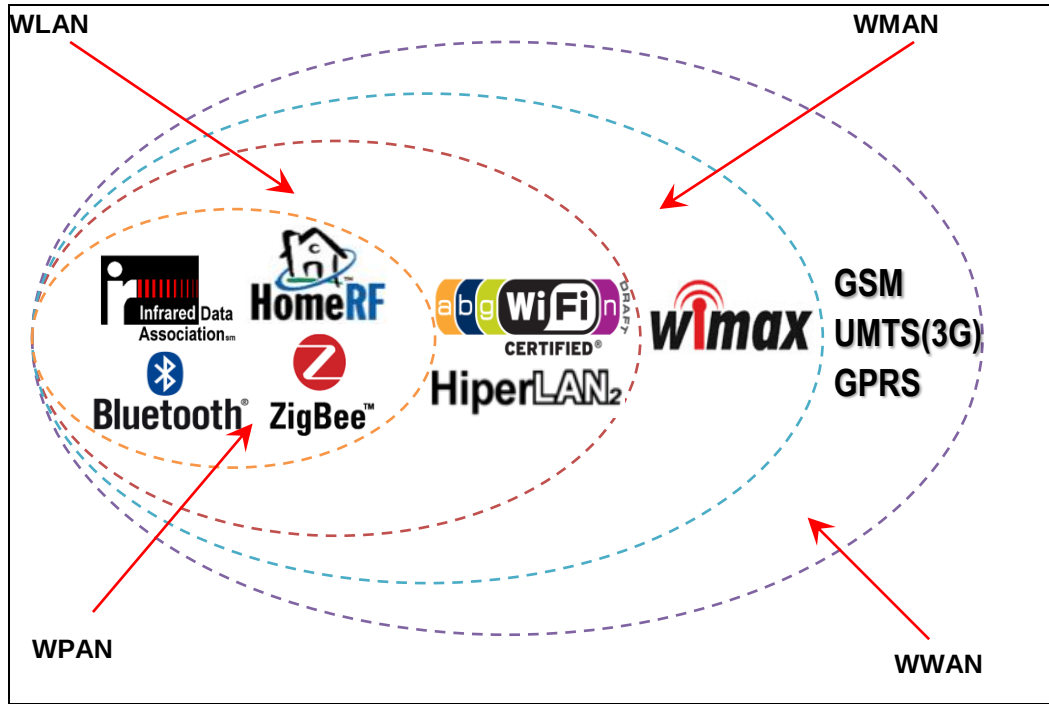
Şekil 2.6. Kablosuz teknolojinin gelişim süreci

Günümüz kablosuz teknolojileri kullanıcılara geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Kullanımdan elde edilen sonuçlar sürekli artmakta buna paralel olarak geliştirilen uygulama sayısı da artmaktadır. Ayrıca istenilen uygulamaya destekleyen birçok sistem geliştirilmiştir.

2.6. Kablosuz Ağ Teknolojileri

Kablosuz ağ teknolojileri, kablolu ağ teknolojilerinin kullanıldığı tüm ortamlarda verimliliği arttırmak, mobiliteden kaynaklanan esnekliği sağlamak, yedekleme amaçlı ve kablolu zorluğunun olduğu yerlerde kablosuz olarak erişilebilirliği devam ettirebilmek için kullanılabilir. Günümüzde kullanılan kablosuz ağ teknolojileri Şekil 2.7

Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kablosuz ağ teknolojileri [26]

Şekil 2.7’de görüleceği gibi kullanılmakta olan birçok kablosuz ağ teknolojisi bulunmaktadır. Bu teknolojilerin ağırlık büyüklüğüne göre kullanıldıkları yerlerde farklılıklar göstermektedir.

IRDA: Infrared Data Association yada kısa adıyla IrDA, bir çeşit kızılötesi iletişim teknolojisidir. IrDA, aslında bir WPAN teknolojisi olmamasına rağmen WPAN sınıfında

konumlandırılmaktadır. 1993 yılında 2m'den küçük mesafelerde kızılötesi tabanlı bağlantılar üretmek için geliştirilmiştir. İletişim kurulabilmesi için ilgili cihazların bağlantı uçları birbirilerine dönük olmalı ve aralarında herhangi bir engel olmamalıdır [37].

HomeRF: HomeRF evde bulunan PC, kablosuz telefon ve diğer cihazlar arasında ses ve veri iletişimini kablolu masrafına gerek kalmadan kablosuz olarak sağlamaktadır [38]. HomeRF çalışma grubunun kurulmasından sonra pek çok firma bu gruba katılmış ve üye sayısı 100 civarına ulaşmıştır. Son olarak her biri kendi sektöründe lider konumda olan Compaq, Intel, Motorola, National Semiconductor, Proxim ve Siemens firmalarının katılımıyla çalışmalar sonuçlandırılarak SWAP 2.0 geliştirilmiştir. SWAP 2.0 ile başlangıçta 1.6Mbps olan veri iletişim hızı 10Mbps'e kadar çıkarılmıştır. Gelecekte veri iletişim hızının 20Mbps veya daha yükseğe çıkarılması hedeflenmektedir [38].

Bluetooth: Bluetooth, 2.4GHz ISM bandında çalışan RF tabanlı bir WPAN teknolojisidir. 2.402GHz'den başlayarak 2.480GHz'e kadar 1MHz atlayarak oluşturulan 79 atlama frekansını kullanır. Dünyadaki tüm ülkelerin %95'i Bluetooth için bu frekans aralıklarını desteklemektedir. Modülasyon tekniği olarak FHSS kullanır. Full duplex olarak saniyedeki frekans atlama sayısı 1600'dür. Veri iletimi için Basic Rate (BR) ve Enhanced Data Rate (EDR) olmak üzere iki farklı iletim modu kullanır. Varsayılan temel iletim modu Basic Rate olup bu modda maksimum 1Mbps veri iletimi yapılabilirken EDR modunda bu değer 3Mbps'e kadar çıkmaktadır. EDR, Bluetooth teknolojisinde mimari yapıyı değiştirmeden veri iletim hızını arttıran bir yöntemdir [39]. BR yönteminden farklı olarak GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) yerine PSK (Phase Shift Keying) kullanır [40].

WI-FI (IEEE 802.11x): Kelime anlamı olarak Wi-Fi, "Wireless Fidelity"'nin kısaltması olup "Kablosuz Bağlılık" veya "Kablosuz Bağlantı" anlamına gelir.

Wi-Fi, WLAN uygulamalarında en çok kullanılan ve bugünkü popülerliğini kazandıran IEEE'nin 802.11 standartlarına dayanır. Bu standart IEEE tarafından ilk olarak Haziran 1997'de yayımlanmıştır [41]. Elde edilen başarı sonrasında IEEE tarafından WLAN uygulamaları için 802.11x adı altında bir dizi standart daha yayımlanmıştır. 802.11a, 802.11b, 802.11g standartları bunlar arasındadır. Son olarak 2003 yılında IEEE tarafından yeni ve daha etkin bir standart üzerinde çalışmalara başlanmış ve standardın geliştirilmesi için 802.11TGn Görev Grubu kurulmuştur. Bu grup 802.11n adıyla bilinen standart için halen geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir. 802.11n standardının Kasım 2009'da genel kullanıma sunulması hedeflenmektedir [41].

IEEE 802.11 temel standardı ile 2.4GHz bandında FHSS veya DSSS teknikleri kullanılarak 2Mbps'e kadar veri iletişimi sağlanabilmektedir. 802.11 standardının esas amacı mevcut kablolu LAN'ların, kablosuz olarak genişlemesine olanak tanımak ve sabit sistemlerle mobil sistemleri bir çatı altında toplamaktır [41]. 2.4GHz bandında çalışan ve 11Mbps veri iletim hızına sahip olan IEEE 802.11b ve aynı frekans bandında 54Mbps hızına sahip olan 802.11g Türkiye dahil dünyanın bir çok yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

HiperLAN: HiperLAN1 5GHz frekans bandında 20 Mbps veri iletim hızı sağlamaktadır. HiperLAN2 ise aynı frekans bandını kullanarak 54Mbps veri iletim hızlarına ulaşabilmektedir. [42]. HiperLAN2'nin PHY katmanı 802.11a ile aynıdır ve iki grup ortak çalışma yürütmektedirler.

HiperLAN'lar ATM teknolojisi esaslı olup özellikle HiperLAN2 ağlarında AP'lerden uç sistemlere bağlantıya yönelik bir yaklaşım vardır. Bu yapı hizmet kalitesi kriterlerinin (QoS) sağlanmasına olanak vermektedir. Böylece, 802.11 uygulamalarının aksine ses ve görüntü aktarımı için gerekli iletişim türü desteklenebilmektedir. Diğer bir deyişle 802.11 teknolojisinden daha iyi servis kalitesine sahiptir. Ancak henüz 802.11 teknolojisi kadar yaygın değildir [42].

HiperMAN: WiBro ve WiMAX (IEEE 802.16) standartlarına karşılık olarak, ETSI BRAN grubu tarafından bir WMAN standardı olarak geliştirilmiştir [41]. Ağlar arasında 2-11GHz frekans aralığında sabit geniş band kablosuz erişim (Fixed Broadband Wireless Access - FBWA) hedefleyen bir iletişim teknolojisi.

WiMAX: Günümüzde geniş band erişim teknolojileri kullanılarak her yerde ses, veri ve görüntünün tek bir ortam üzerinden taşınabildiği iletişim ortamlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilen teknolojilerden birisi de WiMAX'tır. WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access - Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk), IEEE 802.16x ve ETSI HiperMAN standartlarına dayandırılan, geniş bant kablosuz erişim sağlama ihtiyacına cevap vermek üzere tasarlanmış bir WMAN teknolojisi.

ZigBee: Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerinin bazı uygulama alanlarında yetersiz kaldığını gören üreticiler ilk olarak 1998 yılında (ZigBee tarzı) kendi kendine organize olabilen ad-hoc kablosuz ağları dile getirmişler daha sonra IEEE tarafından bu istekler 802.15.4 olarak Mayıs 2003'te standartlaştırılmıştır. Zigbee kablosuz algılayıcı ağlarda temel standart yapısı olarak kullanıldığından diğerlerinden daha detaylı açıklanmıştır.

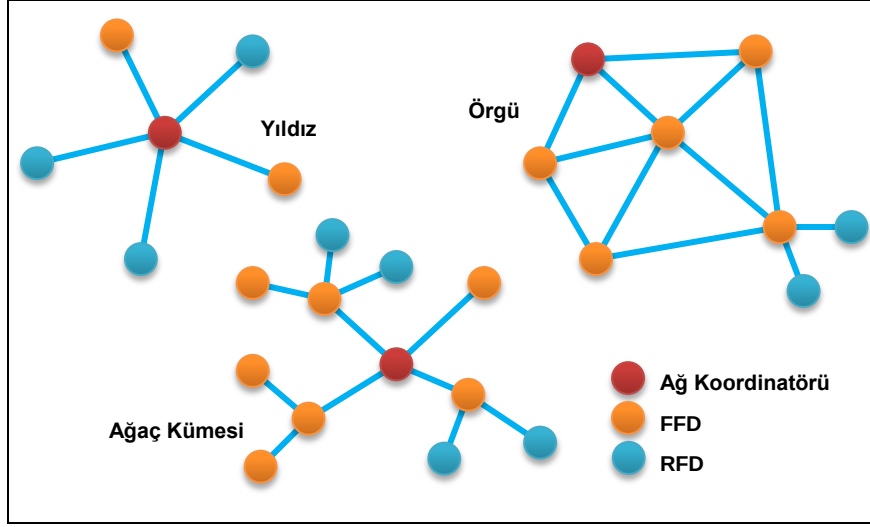
ZigBee'nin ilk teknik detayları ZigBee Alliance tarafından Aralık 2004'te onaylanmış ve Haziran 2005'te versiyon 1.0 (ZigBee 2004 olarak) kullanıma sunulmuştur. Versiyon 1.0'a göre daha gelişmiş olan ZigBee 2006 Eylül 2006 tarihinde yayınlanmıştır. Son olarak Eylül 2007'de ZigBee PRO adıyla bilinen en son halini almıştır [43]. ZigBee standardı KAA'lar içerisinde kullanılan bir iletişim teknolojisidir.

İletilen verinin akışına bağlı olarak ZigBee cihazları gerek duyduğunda uyku moduna geçerek enerji tasarrufu sağlayabilirler. Bu sayede saatler süren uyku devreleriyle birlikte bataryanın kullanım süresi aylarca (2 yıldan fazla) sürebilmektedir [44]. Bu özelliği ile ZigBee izleme ve kontrol amaçlı kablosuz sensör ağlarda çok önemli bir konuma gelmektedir. Tablo 2.1'de bu teknolojinin temel özellikler ve diğer teknolojiler ile karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 2.1. ZigBee teknolojisinin karşılaştırmalı özellikleri

Özellik	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	GPRS/GSM
Odaklanma Alanı	İzleme ve Kontrol	Kablo Yerine	Web, E-mail, Video	Geniş alan ses ve veri
Sistem Kaynağı	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +	16 Mb +
Pil Ömrü (Gün)	100-1000 +	1-7	0,5-5	1-7
Ağ Boyutu (Uç)	2 ⁶⁴	7	32	1000
Ağ Veri Genişliği (kbps)	100-1000 +	720	11000-54000	64-128 +
Kapsama Alanı (m)	1-75	1-10 +	1-100	1000 +
Başarı Alanları	Dayanıklılık, Maliyet, Düşük Güç tüketimi	Maliyet, Rahatlık	Hız, Esneklik	Ulaşılabilirlik, Kalite

ZigBee ağlarda, Yıldız (Star), Örgü (Mesh) ve Küme Ağaç (Cluster Tree) olmak üzere 3 farklı topoloji söz konusudur. Daha az güç tüketimi ve bu sayede batarya ömrünü uzatmak için yıldız topoloji uygunken etkin iletişim ve kesintisiz veri iletimi için örgü topoloji daha kullanışlıdır. Küme ağaç topolojisi ise ilk iki topolojinin bir kombinasyonu niteliğinde olup etkin iletişim ve verimli güç kullanımı amaçlar [44]. Şekil 2.8'de ZigBee teknolojisinde kullanılan ağ topolojileri gösterilmektedir.



Şekil 2.8. ZigBee ağ topolojileri

ZigBee cihazlarını “kullanım amaçları” ve “işlevsellik” bakımından gruplandırmak da mümkündür. Bunlar;

- **Kullanım Amacı (Mantıksal) Bakımından;** Koordinatör, Yönlendirici ve Uç Noktası olmak üzere üçe ayrılır.
- **İşlevsellik (Fiziksel) Bakımından;** Tam Fonksiyonlu Cihaz (Full Founctional Device - FFD) ve Azaltılmış Fonksiyonlu Cihaz (Reduced Founctional Device - RFD) olarak ikiye ayrılır.

şeklinde sayılabilir [44].

Kullanım amaçları açısından bakıldığında, Koordinatör, ağın oluşturulması ve yönetilmesinden sorumludur. Ağa dahil olan tüm düğümler hakkındaki bilgileri saklar. Yönlendirici ise düğümler arası haberleşme ve verilerin yönlendirilmesinden sorumludur. Koordinatör ve Yönlendirici, güç gereksinimini daha çok şebeke enerjisinden karşılar. Uç noktası ise daha çok batarya üzerinden güç ihtiyacını karşılar ve gerektiğinde batarya ömrünü uzatmak için uyku moduna geçerek enerji tasarrufu sağlar. Uç noktaları daha çok bilgi toplayan ve bunları yönlendirici üzerinden başka noktalara ileten cihazlardır [44].

İşlevsel açıdan bakıldığında, FFD cihazlar herhangi bir topolojide (koordinatör veya düğüm gibi) herhangi bir rol üstlenebilirler. Diğer FFD ve RFD cihazlar ile konuşabilirler ve genelde şebekeden besleme alırlar. RFD cihazlar ise Ağ koordinatörü olamazlar ve sadece FFD’ler ile konuşabilirler. Çok basit yapıdadırlar ve genellikle batarya beslemesi kullanırlar. Bir ağ içerisinde daha çok düğüm görevi görürler [43].

ZigBee teknolojisinin kullanım alanı o kadar çok ki bunlar ev aygıtlarından, arabaların çeşitli parçalarına kadar bir çok yer olabilir [43]. Sonuçta bilgi alınmak istenilen her nokta

ZigBee için uygun bir sistemdir. Ayrıca kablosuz ve ucuz olduğundan kablolu maliyetlerini de düşürebilir. Hatta bazı versiyonları kendi enerjilerini üretecek şekilde de tasarlanabilir.

3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

3.1. Giriş

Bu bölümde KAA'larda kullanılan algılayıcıların gelişimi ve donanımsal birimleri verilerek literatürde bu alan ile ilgili mevcut sorunlar açıklanacaktır. Sonrasında bir KAA oluştururken ne gibi tasarım faktörleri olduğu gösterilmiştir. Bu doktora çalışmasında KAA'larda mevcut servis kalitesi sorununa çözüm önerildiği için bu kavramların iyi anlaşılmasının önemli olduğu düşünülmüştür. Bu bölümde açıklanan konular Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. KAA ile ilgili ele alınan konular

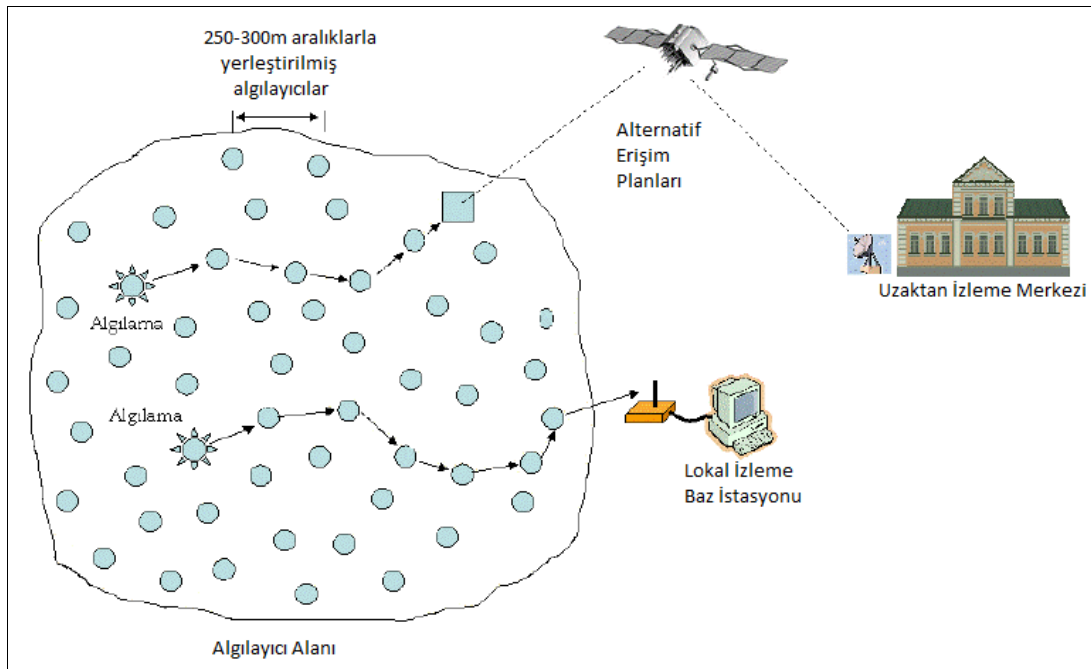
3.2. Gelişim Süreci

Kablosuz teknolojilerdeki ve haberleşmedeki gelişmeler, düşük maliyetli, düşük güç tüketen ve birçok fonksiyonu yerine getiren algılayıcı düğümlerin gelişimini hızlandırmıştır. Algılayıcı düğümlerin küçük boyutlu, birçok algılama yeteneğine sahip, tümleşik donanımlar olarak karşımıza çıkması beraberinde kullanım alanların da önemli gelişmelere neden olmuştur. Algılayıcı düğümler bir ortamdaki istenilen ses, sıcaklık, nem, hareket, basınç gibi birçok durumu tespit edebilen algılama birimine sahip olabilmektedir. Bir algılayıcı düğüm tek bir algılama birimine sahip olabileceği gibi birden fazla algılama

birimini de sahip olabilir. Algılayıcı düğümler algılama işlemini gerçekleştirdikten sonra bu bilgileri etrafındaki düğümlere ya da bir toplayıcı düğüme iletirler. Üzerlerinde bulunan haberleşme birimleri ile iletişim kurarlar. Haberleşme birimi uydu, radyo sinyali gibi birimlerden oluşabilmektedir [7].

Düğümelerin belirli bir ortam içerisinde birbirleriyle ya da bir toplayıcı düğüm ile iletişim kurduğu ve veri alıp gönderebildiği ortama kablosuz algılayıcı ağ (KAA) olarak isimlendirilmektedir [45]. KAA'lar birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Kablosuz algılayıcılar sınırlı mikroişlemci ve bellek kapasitelerine sahip kısa mesafede kablosuz ortam üzerinden iletişim kurabilen düşük güçlü düşük maliyetli ve birçok işleve sahip düğümlerden oluşur.

Başka bir deyişle kablosuz algılayıcı ağlar (KAA), kullanılacakları uygulama ortamına hızlı ve düzensiz yerleştirilebilen, ölçeklenebilir, kendi kendine organize ederek ağın ihtiyaç duyacağı altyapısını sağlayabilen çok sayıda algılayıcı düğümünden oluşan, bir teknolojidir [7]. Her bir algılayıcı bir ya da daha fazla algılayıcı, küçük miktardaki işlemleri gerçekleştirebilen işlem birimi, yakın mesafedeki düğümler ile haberleşmeyi sağlayan alıcı-verici ile çok kısıtlı bir güç biriminden oluşur. Düşük kurulum ve işletim maliyetleri sebebiyle, KAA'lar birçok alandaki (sağlık, askeri, çevresel vb.) bilgi toplama, izleme ve takip gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Şekil 3.2'de genel bir kablosuz algılayıcı ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Genel bir kablosuz algılayıcı ağ yapısı [7]

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca birçok teknolojik gelişim sürecinde olduğu gibi algılayıcı düğümlerinin de gelişim süreci askeri alandaki çalışmalarla başlamıştır.

1950’li yılların başlarında Atlantik okyanusunun derin havzalarında, Ses Gözetim Sistemi (*Sound Surveillance Systems - SOSUS*) adı verilen uzun menzilli akustik sensörler (hydrophones), deniz altı gözetimi amacıyla konumlandırılmaya başlanmıştır. Bu sistem daha karmaşık bir düzenek olan Entegre Denizaltı Gözetim Sistemi (*Integrated Undersea Surveillance Systems - IUSS*) ile değiştirilinceye kadar deniz altından gelebilecek tehlikelere karşı Birleşik Devletlerin korunmasına yardımcı olmuştur[23].

Hava savunma radar ağları uzun menzilli kablosuz algılayıcı ağların uzak mesafe kullanımına örnek olarak kabul edilebilir. Yerleşik kara radar sistemleri ve Hava sahası Uyarı ve Kontrol Sistemi uçakları (AWACS) içerisine entegre edilmiş kablosuz ağlar sayesinde hava gözetim, kontrol, komuta ve iletişimini sağlamaktadır. AWACS uçaklarının üzerinde bulunan 10 metre çapında 2 metre kalınlığındaki radar kubbeleri, 300km uzaklıktaki uçan bir hedefi algılayabilmektedir [46].

1980 ve 1990’lar da CEC (*Cooperative Engagement Capability*) tarafından savaş alanında bulunan çoklu radar düzenekleri arasında kurulan bağlantılar ile askeri algılayıcı ağı geliştirdi. Geliştirilen diğer bir kablosuz algılayıcı ağı ise Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından Vietnam savaşında kullanılan Air Delivered Seismic Intrusion Detector (ADSID) sistemidir. Her bir ADSID düğümü yaklaşık 1.2 metre uzunluğunda 0.2 metre çapında ve 17 kg ağırlığında idi. Yol boyunca yerleştirilen bu algılayıcılar hassas sismometreler ile donatılmış olup hareket eden herhangi bir araç veya personelin titreşimini, belirli bir frekansta alıcı uçağa iletmekteydi. Oldukça yüksek güç tüketen ve ağır olan bu ilk kablosuz algılayıcı düğümü örnekleri oldukça başarılı çalışmasına karşın yaşam ömrü sadece birkaç hafta ile kısıtlıydı [47].

Kablosuz algılayıcıların ticari kullanımı 1996 yılında UCLA ve Rockwell Bilim Merkezi tarafından düşük güçlü entegre kablosuz mikro algılayıcıları (*LWIMs*) üretilmesiyle başlamıştır. CMOS’ların düşük maliyetli fabrikasyon üretim ile çok sayıda algılayıcı, elektronik arayüz, kontrol ve iletişim birimleri küçük bir aygıtta toplanmıştır. LWIM 1mW verici ile 10 metrelik bir alanda 100Kbps kablosuz iletişimi desteklemekteydi [47].

1998 yılında yine aynı çalışma grubu, ikinci nesil algılayıcı düğümü olan Entegre kablosuz ağ algılayıcılarını (*Wireless Integrated Network Sensors - WINS*) üretti. Rockwell tarafından üretilen ticari kullanım amaçlı WINS, 32 bitlik Intel Strong ARM SA1100

işlemci (1 MB SRAM ve 4 MB flash hafıza), 1 ile 100mW arasında ayarlanabilen güç tüketimi ile 100Kbps kablosuz iletişimi destekleyen bir radyo kartı ve bir algılayıcı kartı barındırmaktaydı. İşlemcinin aktif güç tüketimi 200mW seviyesindeyken uyku halinde güç tüketimi 0.8mW civarındaydı [48].

1999 yılında UC Berkeley’de Smart Dust projesi ile geliştirilen WeC adı verilen ilk algılayıcı düğümü piyasaya sürüldü. WeC, 8 bitlik 4 MHz hızında işlemci, aktif güç tüketimi 15mW olan, pasif güç tüketimi 45µW olan, 512 b Ram ve 8 Kb eepromu olan Atmel Mikro denetleyiciye sahipti. Ayrıca WeC 10Kbs hızında kablosuz veri iletişimini 36mW verici ve 9mW alıcı güç tüketimi ile desteklemekteydi [49].

2001 yılında Mica, Mica2, Mica2Dot ve MicaZ’yi bünyesinde barındıran Mica ailesi piyasaya sürülmüştür. Mica 8 bit 4 Mhz hızındaki ATmega103L işlemcisini kullanmaktayken önceki sensör düğümlere kıyasla daha üstün bir kapasiteye sahip olduğu kabul edildi. Mica 4Kb Ram ve 128 Kb flash hafızası ve basit bit düzeyinde radyo kullanan RFM TR1000 ile neredeyse WeC ile aynı güç tüketim değerleriyle 40Kbps kablosuz veri iletişimine olanak tanımaktaydı. Mote mimarisi, birden fazla değişik türevde sensör, veri erişim kartı veya ağ ara yüz kartı monte edilmesine izin veriyordu [50].

2002 yılında Mica’yı takip eden süreçte Mica2 ve Mica2Dot düğümleri, 33mW aktif ve 75µW pasif güç tüketimine sahip, ATmega128L mikro denetleyicisi ile piyasaya sürüldü. Radyo modülünü de daha geniş frekans seçeneği sunan ve FSK modülasyonu kullanarak gürültü düzeyini düşüren Chipcon CC1000 modülü ile değiştirildi [50].

2003 yılında MicaZ, 802.15.4/ZigBee protokolü destekleyen, 250Kbs üzeri kablosuz veri iletişimi sağlayan Chipcon CC2420 geniş band modülüyle piyasaya sürüldü. Bu modül aynı zamanda tümleşik olarak şifreleme ve kimlik doğrulamayı da destekliyordu [48].

2004 yılında motes ailesinin diğer bir ürünü olan Telos piyasaya sürüldü [51]. 3mW aktif, 15µW pasif güç tüketimine sahip Texas Instruments firmasının mikro denetleyicisini kullanan Telos oldukça düşük güç tüketimiyle dikkat çekmiştir. Bununla birlikte maliyeti düşüren PCB üzerinde tümleşik anten, PC ile kolay iletişim kurmayı sağlayan tümleşik USB bağlantı arayüzü, entegre nem, sıcaklık ve ışık sensörü, algılayıcı kimlik tanımlama için 64 bit MAC adresleme Telos ile sunulan yeniliklerdendir [47].

Motes, tasarım sistemi ve kullanım alanları bakımından WINS’ten oldukça farklıdır. Motes basit algılama ve sinyal işleme uygulamaları için tasarlanmış, işlem ve iletişim kapasitesi bakımından zayıf kalmıştır. WINS ise yoğun işlem uygulamaları ve büyük hafıza ihtiyaçları için PDA’in tümleşik bir sürümüdür. Motes ve WINS arasındaki bu

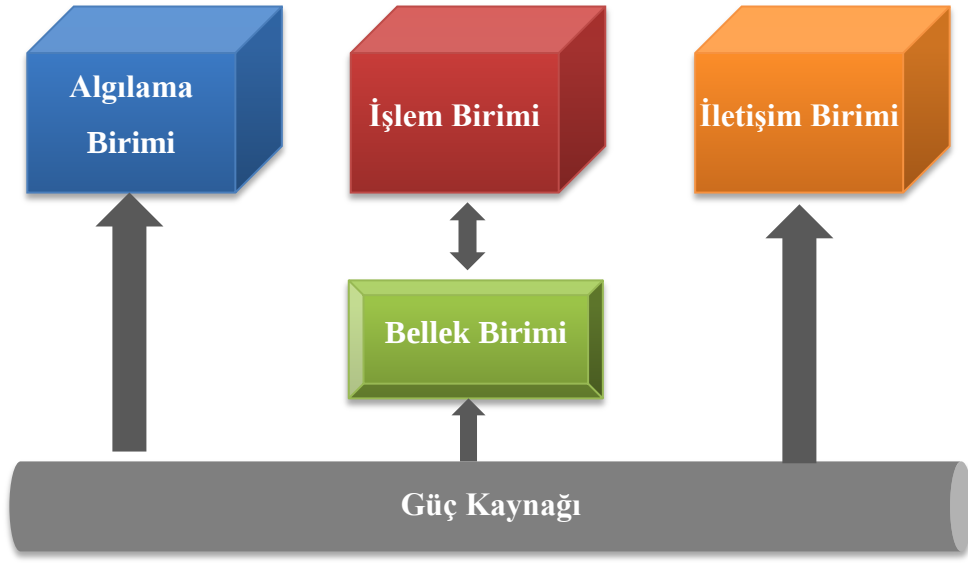
boşluğu doldurmak amacıyla Medusa MK-2 sensör düğümü CENS (*Center of Embedded Networked Sensing*) tarafından 2002 yılında UCLA’da geliştirilmiştir [52]. İki adet mikro denetleyici içermesi Medusa MK-2’nin ayırt edici özelliği olmuştur. ATmega128 mikro denetleyicisi düşük işlem kapasitesi gerektiren, radyo bandı işleme ve sensör örnekleme ayrılmıştır. Diğer işlemcisi olan AT91FR4081 mikrodenetleyicisi (*40MHz, 1Mb flash hafıza, 136 Kb Ram*) ise daha fazla güç gerektiren karmaşık işlemlere ayrılmıştır. Bu iki farklı özellikte mikro denetleyicinin bir araya gelmesiyle Kablosuz algılayıcı ağlarında, yüksek hız ve uzun pil ömrü ihtiyacı gerektiren ortamlarda esnek bir kullanım sağlamaktadır [47].

Kablosuz algılayıcı düğümlerinin kritik sorunlarından biri enerji tüketimi konusudur. Geniş saha kullanımlarında sık denetim ve yenileme ihtiyacı yüzünden bakım maliyeti sorunu ortaya çıkarmaktadır. 2003 yılında Berkley Kablosuz Araştırma Merkezi (BWRC) gücünü güneşten ve titreşim sinyallerinden alan ilk kablosuz verici olan PicoBeacon’u piyasa sürmüştür. Entegre edilen RF modülü $400\mu W$ ’tan daha az güç tüketmekteydi. Yoğun ışıklı bir ortamda %100, karanlık bir ortamda titreşime bağlı olarak %2.6 işlem kapasitesiyle çalışmaktaydı [53].

Kablosuz algılayıcıların gelişim süreci göstermiştir ki kullanım ihtiyaçlarına göre araştırmacılar ve üreticiler algılayıcı yapılarını geliştirmişlerdir. Böylece günümüzdeki kullanılabilir halini almıştır.

3.3. Temel Kablosuz Algılayıcı Yapısı

Şekil 3.3’de tipik bir kablosuz algılayıcı yapısı gösterilmiştir. Algılayıcı beş ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar işlem birimi, bellek, algılama birimi, iletişim birimi ve güç kaynağıdır [54]. Bu bölümde Şekil 3.3’de blok olarak verilen temel bileşenler açıklanacaktır.



Şekil 3.3. Kablosuz algılayıcı mimarisi

3.3.1. İşlem Birimi

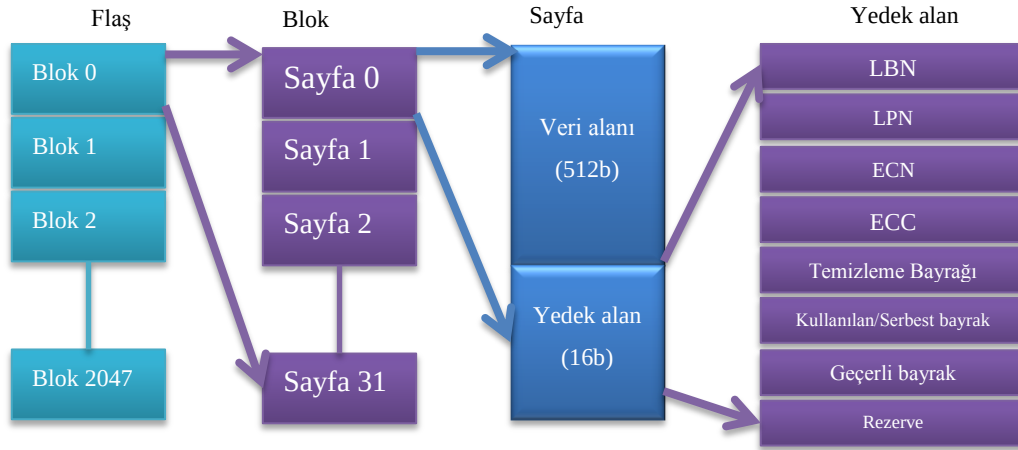
İşlem birimi kablosuz algılayıcı düğümün en temel birimidir. Algılayıcı birimden alınan veriyi toplar, nereye ve ne zaman göndereceğine karar verir, diğer algılayıcı düğümlerinden veri alır ve çalıştırıcının davranış biçimine karar verir. Zaman, kritik sinyal işlemi ve iletişim protokollerine göre değişen çeşitli programları çalıştırmak durumundadır. Düğümün merkezi işlem birimidir.

İşlem biriminin yapılandırılmasında seçilecek olan donanımın öncelikli olarak, esnek kullanım, enerji verimliliği ve düşük maliyet özelliklerine sahip olması beklenmektedir.

Bilgisayarlarda da kullanılan işlemciler bu iş için uygunmuş gibi düşünülebilir. Ancak bu işlemciler yüksek işlem kapasitelerine rağmen çok yüksek miktarda enerji tüketmektedirler. Bu işlemcilerden farklı olarak mikro denetleyici olarak bilinen daha basit yapıda ve gömülü sistemlerde kullanılmak üzere uygun işlemciler mevcuttur. Diğer aygıtlarla kullanımında gösterdiği esneklik, sinyal işleme işlemleri için yeterli sayılabilecek komut seti, düşük güç tüketimi ve dâhilinde mevcut olan bellek birimiyle mikro denetleyicileri bu alanda kullanılabilir kılmaktadır [55]. Ayrıca serbest yapıda programlanabilir olmaları esnekliklerini arttırmaktadır. Uyku durumu güç tüketimlerini minimum seviyede tutmayı başardığı için kablosuz algılayıcı ağlarında tercih edilen bir donanım birimi olmuştur [56].

3.3.2. Bellek Birimi

Kullanılan bellek birimi klasik bilgisayarlarda geçici işlemlerin tutulması için kullanılan rastgele erişimli bellek (RAM) biçimidir. Algılayıcılardan iletilen bilgileri depolar, diğer düğümlerden gelen paketleri saklar. Hızlı bir RAM bellek kullanılması, enerji kesintilerinde yüksek miktarda veri kaybına yol açar. Program kodları ROM bellek veya EEPROM türü bellekte saklanır.



Şekil 3.4. Flaş bellek birimi mimarisi

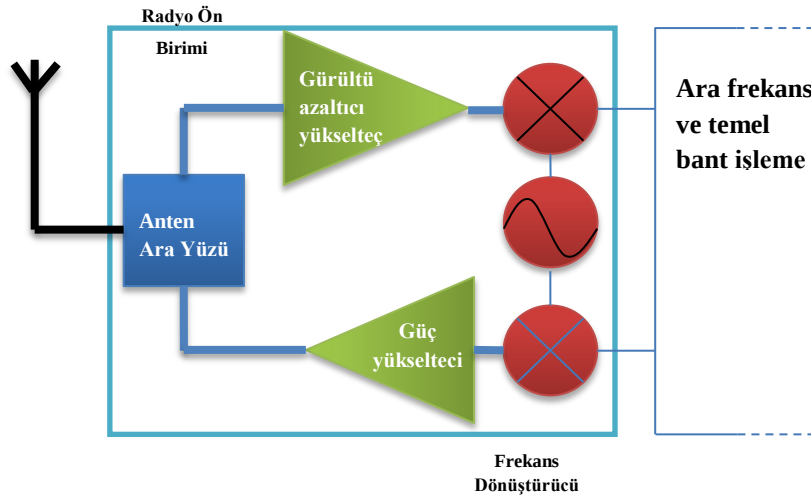
Şekil 3.4'de 32 Mb lık bir bellek birimin mimari yapısı görülmektedir. Flash bellek birimleri blok adı verilen eşit büyüklükteki silme birimlerine ve her blok sayfa olarak isimlendirilen okuma yazma birimlerine bölümlendirilmiştir. Her sayfa veri alanı ve yedek alan olarak iki birimden oluşur. Yedek alan ise, lojik blok numarası, lojik sayfa numarası, silme sayıcı numarası, hata doğrulama kodu, temizleme bayrağı kullanılan/serbest bayrağı ve geçerli bayrak birimi bilgisini barındırır [57].

3.3.3. İletişim Birimi

İletişim birimi ağda bulunan diğer algılayıcı düğümler arasında veri alışverişi yapan birimdir. İletişim birimi donanımı, cihazın kullanılacağı ortam göz önüne alınarak seçilir. Radyo frekansı, optik iletişim, yansıma veya özel durumlarda kullanılan manyetik indüktans genel olarak kullanılan iletişim biçimleridir. Bu seçeneklerden radyo frekans temelli iletişim türü kablosuz algılayıcı düğümleri arasında iletişimin sağlanmasında en uygun biçimdir. Radyo frekans temelli iletişim, alıcı ve verici arasında geniş bir mesafe olmasına olanak tanır, yüksek veri iletimi sağlar, kabul edilebilir seviyede düşük hata

düzeyi sunar, düşük enerji tüketir ve alıcı ile verici arasında bir hatta ihtiyaç duymaz. Bu kablosuz algılayıcı ağları 433MHz ile 2.4GHz frekansları aralığında veri iletişimi gerçekleştirir [58].

Gerçek bir iletişim için bir algılayıcı düğümü hem alıcı hem de verici birimine ihtiyaç duyar. Esas görevi mikro denetleyiciden gelen bit düzeydeki verileri radyo dalgalarına dönüştürerek iletim ortamına vermek ve ortamdaki radyo dalgalarını da bit düzeyindeki verilere çevirmektir. Uygun bir kullanım için bu iki işleminde aynı sürede yapılması beklenir. Şekil 3.5’ de RF ön birim blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.5. RF ön birim blok şeması

Kablosuz algılayıcı düğümü için seçilecek alıcı-verici biriminin bazı karakteristik özellikleri olması beklenir. Üst katmanlara veri aktarım kapasitesi, güç tüketimi ve enerji verimliliği, taşıyıcı frekans ve çoklu kanal sağlaması, durum değiştirme süreleri ve enerji, veri hızı, modülasyon, şifreleme, iletim gücü kontrolü, gürültü faktörü, kazanç, alıcı hassasiyeti, frekans kararlılığı gibi karakteristik özellikleri dikkate alınır [59].

Şekil 3.5’ de alıcı-verici biriminin ön uç birimi görülmektedir. Bu birim kullanılacak radyo frekans bandında analog sinyal işleme görevi üstlenmektedir.

Frekans ve temel bant işleme birimi ise dijital yapıdaki sinyali işleme ve algılayıcı düğümünün işlemcisi veya diğer dijital devre birimi ile iletişimi sağlamakla görevlidir.

Güç yükselteci birimi dönüştürülmüş sinyali alarak yükseltip antene iletir.

Gürültü azaltıcı yükselteç ise antenden gelen sinyali alarak ortam gürültüsünü önemli ölçüde azaltıp geçerli veri sinyalinin genliğini arttırarak işlenmek üzere ilgili birime iletir.

Osilatör ve karıştırıcı birimleri ise sinyali RF spektrumundan orta düzey frekansa veya temel bant frekansına dönüştürme işlemlerinde kullanılır.

Bir alıcı-verici biriminde dört işlem durumu mevcuttur.

1. **İletim durumu:** Alıcı-verici biriminin verici kısmının aktif olduğu ve antenden enerji yaydığı durumdur.
2. **Alıcı durumu:** Alıcı kısmının aktif olduğu durumdur.
3. **Idle:** Alıcı-vericinin veri almaya hazır olduğu fakat aktif olarak veri almaya başlamadığı durumdur. Idle durumunda alıcı-verici biriminin birçok kısmı aktif durumdadır.
4. **Bekleme durumu:** Alıcı-vericinin birçok önemli biriminin kapalı halde beklediği durumdur.

Kablosuz algılayıcı ağları için uygun alıcı-verici birimleri pek çok firma tarafından piyasa sürülmüştür [50]. Bu aygıtların sınıflandırılmasında genellikle Avrupa’da ve Kuzey Amerika’da, taşıyıcı frekans üzerinde yapılan düzenleyici kısıtlamalar dikkate alınmaktadır. En yaygın olarak kullanılan ürün çeşitleri arasında; RFM TR 1001, Chipcon CC 1000 & CC2420 (*ilk IEEE 802.15.4 uyumlu modellerden biri*) ve Inineon TDA525x ailesi sayılabilir [60].

Kablosuz algılayıcıların geniş sahada düşük güç tüketerek iletişim sağlaması için en uygun iletişim protokolü ZigBee Alliance tarafından geliştirilen IEEE 802.15.4 standardıdır.

3.3.4. Algılama Birimi

Algılama birimi olmadan diğer bütün birimlerin bir araya gelmesi ancak, gerçek bir veri alışverişinden yoksun bir aygıt ortaya çıkartabilir.

Algılayıcılar üç kategoride incelenmektedir [59].

1. **Pasif, çok yönlü algılayıcılar:** Ortamda herhangi bir değişikliğe yol açmadan sadece algılayıcı düğümünün bulunduğu noktada fiziksel büyüklükleri ölçme işlemi gerçekleştirir. Bu nedenle birçok algılayıcı türleri ihtiyacı olan enerjiyi ortamdan sağlar. Güç sadece ortamdan alınan analog sinyal verisinin yükseltme işleminde kullanılır. Isı sensörü, ışık sensörü, titreşim sensörü, mikrofon pasif sensör tipine örnek olarak gösterilebilir.
2. **Pasif, tek yönlü algılayıcılar:** Ortamda bir değişikliğe yol açmadıkları gibi ölçüm yapacakları konuda yönlendirilmiş olmaları gerekir. Örneğin mesafeyi ölçecek bir

kamera gerekli görülmediği sürece ölçüm yapacağı yönde hedeflenmiş olması gerekir.

- 3. Aktif Algılayıcılar:** Ortamda sinyal üreten ve bu sinyalin aldığı duruma göre ölçüm yapan algılayıcılardır. Örneğin küçük şok dalgaları üreterek ölçüm yapan Sonar veya Radar algılayıcıları bu grupta değerlendirilir.

3.3.5. Güç Kaynağı

Kablosuz algılayıcılar geniş saha alanında kullanıldıkları için enerji tüketim miktarları önemlidir. Şekil 3.6 ile kablosuz algılayıcı mimarisinde gösterilen birimlerine göre enerji tüketimi ele alınırsa, en çok enerji tüketimi yapan birim iletişim birimidir. Algılama birimi ve işlem birimi ise iletişim birimine göre daha az enerji tüketmektedir.

Algılayıcı düğümlerin güç kaynakları kullanımlarındaki en büyük kısıtlamalardan biridir. Bu soruna çözüm olarak algılayıcıyı şarj edilebilir hale getirmek gibi çözümler önerilmektedir [56]. Bunu sağlamak içinde yüksek yoğunluklu batarya hücreleri ile donatmak yada doğal kaynaklardan enerji üretimi gibi yöntemler kullanılabilir. Fakat bu yöntemlerin uygulanabilirliği ve ömrü kısıtlıdır. Birçok algılayıcı düğüm güç kaynağı olarak AA piller kullanmaktadır. İletişim biriminin yoğun güç tüketiminden dolayı yönlendirme yöntemleri ile bu birimin iş yükü azaltılarak enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.6. Kablosuz algılayıcı düğümü işlevsel blok şeması

3.4. Düğümler İçin Geliştirilmiş İşletim Sistemleri

Boyutları küçülen ve kapasiteleri artan kablosuz algılayıcı düğümlerinin açık alanda kullanım ömrünün uzun yıllar sürmesi istenmektedir. Enerji tüketiminin donanım seviyesinde minimum seviyede tutulması istendiği gibi yazılım seviyesinde de minimum seviyede olması gerekmektedir. Bunun için piyasada geliştirilmiş olan ticari ve açık kaynak kodlu olarak işletim sistemleri bulunmaktadır. Açık kaynak kodlu olarak;

- Omnet
- Opnet
- TinyOS
- MANTIS
- SOS

Ticari olarak ise;

-  COS
- AVRX

Bunlardan bazıları olarak sayılabilir [58].

3.5. Kablosuz Algılayıcıların Kullanım Alanları

KAA'ların, uygun maliyet, güvenilirlik, doğruluk, esneklik ve kurulum kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle çok değişik uygulama alanı vardır. Günlük hayatın pek çok noktasında farkında olmadan algılayıcı ağlar kullanılmaktadır. İncelenen kaynaklar doğrultusunda algılayıcı ağlarının uygulama alanları aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır [8];

- **Çevresel Uygulamalar**
 - Ev içi ısı, nem, gürültü ve havalandırma gibi değerlerin alınması,
 - Orman yangını, sel, deprem, gibi doğal afetlerin tespiti,
 - Hava kirliliği tespiti ve ayrıntılı rapor alınması,
 - Canlıların doğal yaşamının gözlenmesi,
 - Tarımcılık (sulama, topraktaki mineral seviyeleri vb. gibi) uygulamaları
- **Sağlık Uygulamaları**
 - İnsanların fizyolojik verilerinin (sağlık veya sportif amaçlı olarak) uzaktan izlenmesi,

- Hastanede bulunan doktorların yerinin ve hastaların durumunun (kalp atışı, kan basıncı vb.) izlenmesi,
- Hastanelerdeki ilaç dağıtımının yönetimi ve izlenmesi
- **Ticari Uygulamalar**
 - Küçük çocukların konumlarının aileleri tarafından takip edilmesi,
 - Hırsızlık tespiti ve alarm sistemleri, güvenlik uygulamaları,
 - Stok giriş-çıkış takibi,
 - Ürün konumlandırma uygulamaları,
 - Araçların izlenmesi ve tespit edilmesi
- **Robotik uygulamalar**
- **Askeri Uygulamalar**
 - Dost kuvvetlerin teçhizat ve cephanesinin izlenmesi,
 - Savaş alanının gözlenmesi,
 - Arazi hakkında keşifte bulunma,
 - Hedefin konumu, sürati gibi hedef bilgilerinin tespiti,
 - Düşmana verdirilen hasar miktarının tespiti,
 - Nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) saldırıları ihbarının alınması ya da keşfi.

Yukarıdaki gruplandırma daha çok uygulamaların hizmet ettiği sektörlerle göre yapılandırılmıştır.

3.6. Kablosuz Algılayıcı Ağların Mevcut Sorunları

3.6.1. Güç Sorunları

Kablosuz algılayıcılar küçük boyuttaki elektronik aygıtlardan oluşmaktadır ve güç kaynakları ($<0.5A$, $1.2V$) sınırlıdır. Bazı uygulama senaryolarında güç kaynaklarını yedeklemek mümkün olabilmektedir [61]. Fakat bu kullanım alanına göre her zaman mümkün olmamaktadır. Algılayıcının yaşam ömrü kullandığı güç kaynağının ömrüne bağlıdır. Birden çok algılayıcının kullanıldığı çoklu KAA' larda her bir algılayıcı iki farklı görevi yerine getirmektedir. Bunlarda veriyi oluşturmak ve veriyi yönlendirmektir [61]. Ağ içerisindeki bir kaç algılayıcının devre dışı kalması önemli topoloji değişikliklerine ve hatta ağ içerisindeki veri yapısıyla yönlendirme işlemlerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirebilir. Bu nedenle güç tasarrufu ve güç yönetimi için ilave önlemler alınması

gerekmektedir [53]. Araştırmacılar genellikle KAA' lar için algoritma ve protokol tasarımı yaparken bu durumu göz önünde bulundururlar.

Diğer kablolu ağlarda da güç kaynakları önemli tasarım faktörüdür, fakat birincil öncelikli sorun değildir. Çünkü yaşanabilecek bir güç kaynağı sorunu kullanıcı tarafından giderilebilmektedir. Algılayıcı ağlarda ise güç tasarrufu önemli bir performans parametresidir.

Alan içerisindeki algılayıcıların temel görevi olayları tespit etmek, hızlı veri değişimlerini gerçekleştirmek ve veriyi iletmektir. Algılayıcı üç bölümde güç harcamaktadır. Bunlar algılama, iletişim ve veri işlemedir [62].

Algılama birimi ve bileşenleri bölüm 3.3'de gösterilmiştir. Algılama aşamasında harcanan güç uygulamanın doğasına göre değişiklik gösterir. Çok az uygulamada sabit bir olayı izleme anlık izlemeden daha az güç tüketebilir. Burada algılamanın karmaşıklığı da güç tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır [61]. Yüksek çevre gürültü seviyeleri belirgin bozulmaya ve algılamanın karmaşılaşmasına sebep olabilmektedir.

3.6.2. Yönlendirme Sorunları

KAA' larda yönlendirme çeşitli ağ faydalarını sağlamak ve verilerin bir noktadan bir noktaya aktarılmasını sağlamak için kullanılır. Temel amaçları ağ ömrünü artırmak, servis kalitesi elde etmek, güvenlik ve diğer ağ parametreleriyle ilgili sorunlara çözüm bulmaktır. Algılayıcılar ağ ortamın rasgele olarak dağıtılmakta ve ağ içerisindeki konumları bilinmemektedir. Özellikle zor coğrafi alanlarda veya gözlemlene alanlarına rasgele olarak dağıtılmaktadır. Buda algılayıcıların herhangi bir bakım veya düzenleme yapmadan, uzun süre sınırlı kaynaklarıyla çalışmalarını ve gerekli işlemleri yapmalarını gerektirmektedir. Bu nedenle, algılama, iletim ve veri aktarımı görevlerini diğer algılayıcı düğümlerle bir arada uyumlu bir şekilde yapması gerekir. Bir KAA'ya geleneksel ağlarda kullanılan yönlendirme protokollerinin kullanılamaması şu şekilde özetlenmiştir [63]:

- Algılayıcı düğümler kendi kendini organize edebilmelidir. Çünkü algılayıcıların rasgele ve birbirinden bağımsız yerleştirilmeleri, ortam şartlarına ve topolojiye göre bağlantılar oluşturmasını ve ağı çalışır hale getirmesini gerektirmektedir.
- Birçok KAA uygulamasında, algılayıcı düğümler hareketsiz olarak durmaktadır. Ancak bazı uygulamalarda, bazı algılayıcıların konumlar çeşitli etkilerden ya da ağ gereği konumlarını değiştirebilmektedir.

- Algılayıcı düğümler kullanıldıkları uygulamaya bağımlı olarak çalışır. KAA tasarımıındaki ağ ihtiyaçları uygulamaya göre değişiklik gösterebilmektedir. Örnek olarak hızlı bir iletişim yapılmasını gerektiren bir askeri araç gözlemiyle, düzenli olarak bilgi transferinin yapıldığı hava durumu gözlemi için tasarım kriterleri birbirinden farklılık göstermektedir.
- KAA' lardaki algılayıcılar tarafından algılanan ve iletilen veri bütün olarak değerlendirilir. Bu nedenle bütün veri içerisinde tekrarlı bilgilerin olması ihtimali mümkündür. Bu nedenle verilerin ağ içerisinde bir toplayıcı düğüm tarafından yada bir merkezi nokta tarafından toplanması daha az kaynak tüketimi sağlamış olacaktır. Böyle tekrarlı ve yinelenen verilerin bilgi içerisinden çıkarılması sağlanmış olacaktır.
- KAA' lar veri odaklı ağlardır. Geleneksel ağlarda veri sabit bir noktadan alınarak kullanılmaktadır. KAA' larda ise veri belirli özellikleri dikkate alarak oluşması istenmektedir. Algılayıcılar ağ içerisinde birkaç farklı durumda çalışabilir. Bunlar uyku, algılama ve iletim şeklindedir. Her bir durumdada algılayıcıların davranışları farklılık gösterir. Uyku durumunda iken kaynak kullanımlarını minimum düzeye indirerek daha az kaliteli bir algılama işlevi yaparken, herhangi bir olay anında algılama durumuna geçerek daha kaliteli işlem yapabilir. Böylece ağ veriye bağılı olarak kendini organize eder.
- KAA' larda haberleşen elemanlar geleneksel ağlara göre daha çok sayıdadır. Özellikle algılama ihtiyacının fazla olduğu ağlarda algılayıcı sayısı oldukça fazladır. Veri odaklı KAA' larda, veriyi kimin gönderdiğinden daha çok verinin kendisi önemlidir.
- KAA' lar duruma göre çalışması farklılık gösterir. Uygulama ortamına bağılı olarak önceden belirlenen bir şart gereği sistemi çalıştırır. Örneğin, şart bir noktadaki sıcaklığın kabul edilebilir sınırlarda büyük yada küçük olması ise, algılayıcı algıladığı sıcaklık bilgilerinden sadece istenenin üstünde yada altında değerler için sistemi çalıştıracaktır.
- Verilerin algılandıktan sonra toplanması bulunduğu konuma göre yapıldığı için algılayıcıların konumlarının bilinmesi önemlidir. Çeşitli çevresel ve ortam şartlarından dolayı bu bilgi GPS gibi sistemlerle elde edilemeyebilir. Bunun yerine KAA ortamı üçgenlere bölme yöntemiyle yeri bilinen birkaç noktanın radyo sinyallerinin genliğinin ölçülmesiyle yaklaşık olarak kendi konumlarının tespiti

mümkün olmaktadır [64]. Bu birkaç nokta ise pozisyonunu GPS ile algılamaktadır. Buna rağmen GPS kullanımını KAA'ların yerleşim problemlerinde çok uygun bulunmamaktadır [65].

KAA'larda yönlendirme protokollerinin ve algoritmalarının tasarımı ve konumlandırılmaları konularında araştırmacılar birçok problemle karşılaşmaktadır. Ayrıca, geleneksel bilgisayar ağlarında gerçekleştirilen bazı güvenli iletişim tekniklerinin KAA'lar üzerine uygulamalarının da gerçekleştirilmesi gerekli olmaktadır [66].

3.6.3. Servis Kalitesi Sorunları

KAA uygulamalarında, ağın ihtiyaç duyduğu servis kalitesinin başlangıçta tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Uygulamanın sunacağı servisin kalitesi, ağ ortamında bulunan algılayıcıların üzerinden elde edilmektedir. Bu nedenle servis kalitesi parametreleri ağda bulunan algılayıcıların algılama, veri iletme ve yönlendirme gibi davranışlarına göre değişiklik gösterir. Servis kalitesi için gerekli algılayıcı sayısı önemli bir kriterdir. Algılayıcılar KAA ortamına rastgele dağıtıldığından, tam olarak kullanılması gereken algılayıcı sayısının ne kadar olduğunu bulmak oldukça zordur. Buna ek olarak, zaman geçtikçe algılayıcıların ömürlerini doldurması ve ölmesi yada yeni algılayıcıların ağa eklenmesi ile bu sayıda dinamik bir şekilde değişebilmektedir. KAA' larda uygulamaya göre değişiklik gösteren servis kalitesi gereksinimleri söz konusudur. Her uygulama için ayrı servis kalitesi parametreleri belirlenemeyeceği gibi, tüm uygulamalara tam olarak yetebilecek bir standart bulmakta zordur. Bu nedenle KAA' larda, uygulamaya özgü ve ağlara özgü olmak üzere iki farklı yaklaşım bulunmaktadır [19]:

- A. Uygulamaya göre:** Servis kalitesi parametreleri; kapsam, ölçüm hataları ve aktif algılayıcıların optimum sayısı olarak çeşitli çalışmalarda belirlenmektedir [67], [68]. Uygulamalar algılayıcıların yerleştirilmesi sırasında uygulamanın kalitesi ile direkt bağlı olan gereksinimler olan aktif algılayıcı sayısı, algılayıcıların ölçüm doğruluğu gibi değerleri belirlerler.
- B. Ağlara göre:** KAA' larda her bir uygulama için, veriyi teslim etme modeline göre, her bir uygulama sınıfını ayrı ayrı incelemek mümkündür [68]. Dolayısıyla, servis kalitesi gereksinimleri incelenirken gerçekleşen uygulamadan çok, verilerin toplayıcı düğüme nasıl teslim edildiğine ve bu durumlara karşılık gelen

gereksinimleri ortaya koymak gerekmektedir. Genel olarak, olaya yönelik, sorgu tabanlı, sürekli ve hibrid olmak üzere dört ana veri iletim modeli söz konusudur.

i. Olaya Yönelik: Birçok olay bazlı uygulama, gecikme kabul etmez ve kritiktir. Algılayıcılar önemli bir olayın oluşumunu beklemektedirler [67]. Olay olur olmaz saptanmalı ve olabildiğince hızlı uygun harekette bulunulmalıdır. Uygulama uçtan uca değildir, yani bir tarafta baz istasyonu varken diğer tarafta olaydan etkilenen tek bir algılayıcı değil algılayıcı grubu mevcuttur. Tek bir algılayıcı tarafından üretilen veri trafiği düşük yoğunlukta olsa da, gözlemlenen ortak olaylar sebebi ile algılayıcı grubu tarafından aşırı yoğun bir trafik oluşabilmektedir. Saptanan olaya karşı verilecek tepki algılayıcılara veya aktive edici algılayıcılar olabildiğince hızlı ve güvenilir olarak dağıtılmalıdır. Bu algılayıcılar veya aktifleştiriciler aynı baz istasyonunun grubunda bulunmayabilirler. Bu tip veri aktarımı modelleri birçok KAA' da mevcuttur. Olay saptanması ve sinyal takibi gerektirmektedirler.

ii. Sorguya Yönelik: Birçok sorguya yönelik uygulama enteraktif ve gecikmeye karşı toleranslıdır ve uçtan uca uygulama değildir. Enerji tasarrufu amacı ile talep üzerine sorgu gönderilmektedir. Olay bazlı veri teslim modeline benzetmekle birlikte, veri, olay bazlıda algılayıcılar tarafından baza yollanırken, burada baz tarafından talep üzerine çekilmektedir. Verinin hızlı ve güvenilir şekilde ulaşması yine önemlidir. Sorgu, aynı zamanda algılayıcıların yönetilmesi, gönderme oranını veya algılayıcı misyonunu değiştirmek üzere tekrar konfigüre edilmesi için de kullanılabilir. Bazdan giden komutlar tek yönlü trafik oluşturmaktadır ve yüksek güvenilirlik gerektirmektedir.

iii. Sürekli: Bu modelde algılayıcılar verilerini sürekli olarak önceden belirlenmiş olan bir oranla toplayıcı düğüme yollamaktadırlar.

iv. Hibrid modeller: Birçok uygulamada yukarıda bahsedilen veri teslimat modellerinden birkaçı birden kullanılmaktadır. Dolayısıyla farklı servis kalitesi, zorunlu trafik tiplerini bulunduran bir mekanizma gerektirmektedirler.

Algılayıcılar sınırlı enerji kaynaklarına sahip olduklarından, iletişimde ve hesaplamalar sırasında enerji tasarruflu yapılar kurulması zorunludur. Ayrıca, algılayıcılar sınırlı hesaplama gücüne sahip olduklarından karmaşık ağ protokollerini çalıştıramayabilirler. Tek bir algılayıcı için bant genişliği sorun olmasa da, bant genişliği belirli zaman aralıklarında algılayıcıların yoğun trafiği sebebi ile algılayıcı grupları için önem

taşımaktadır. Dolayısı ile uçtan uca ağlardaki Servis kalitesi parametrelerinin KAA'larda desteklenen servis kalitesi parametrelerinin ölçümünde yetersiz olacağı açıktır [19].

3.6.4. Güvenlik Sorunları

KAA'ların kullanım alanlarının artması beraberinde güvenlik sorunlarını da ortaya çıkarmıştır. Güvenlik sorunu olarak gizlilik, veri bütünlüğü, kaynak doğrulama ve süreklilik sorunları ön plana çıkmıştır [7].

- **Gizlilik:** KAA'larda gizlilik en önemli sorundur. Algılanan bilginin gizli olması ve yetkisiz kişilerin bu bilgilere ulaşması ağı önemli tehditlere maruz bırakabilmektedir. Bu nedenle verinin gizli ve saldırılardan etkilenmeden hedefe gönderilmesi gerekmektedir. Özellikle askeri uygulamalarda verinin gizli kalması daha önemlidir. Bir algılayıcı çevreden aldığı bilgileri komşularına sızdırmaması gerekmektedir. Birçok uygulamada ise düğümler verileri kablosuz ortam üzerinden diğer algılayıcılara aktararak iletim kurmak zorundadır. Bu durumda da yönlendirme verilerinin kötü niyetli düğümlere karşı korunması gerekmektedir. Kötü niyetli düğümler ağın performansını ve iletimi etkileyebilmektedir. Bu nedenle iletim için güvenli bir veri kanalının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle veriyi gizlemek için kullanılan standart yaklaşım verinin gizli bir anahtar ile şifrelenerek iletilmesidir.
- **Bütünlük:** İletilen verinin belirli gizlilik kuralları ile içinde gönderilmesi verinin yetkisiz kişiler tarafından elde edilmesini engelleyebilmekte fakat değiştirilmesini engelleyememektedir. Bütünlük kavramı verinin iletim ortamında değiştirilmemesini sağlamalıdır. Ağ içerisine yerleştirilecek kötü niyetli bir düğüm yapacağı yayınlı veriyi bozarak ağı normal çalışmasını engelleyebilmektedir. Bu nedenle veri bütünlüğü için gelen mesajın doğrulama kodları kullanmak zorunludur.
- **Kaynak Doğrulama:** KAA'lar ortak kablosuz ortamı kullandığından, kötü niyetli düğümlerden gelen mesajları veya yanıltma paketlerini bulmak için, kaynak doğrulama mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Kaynak doğrulama yöntemleri bir düğümün iletişim halinde olduğu düğümün kimliğini doğrulayabilmesini sağlamaktadır. Kötü niyetli bir düğüm, kaynak doğrulama olmadan bir başka düğümün rolünü yaparak hassas bilgileri elde edebilir ve başka düğümlerin işleyişlerine engel olabilir. Eğer sadece iki düğüm iletişimdeyse kaynak doğrulama gizli anahtar kriptografisi (symmetric key cryptography) ile yapılabilir. Alıcı ve verici bir ortak gizli anahtar (secret key) paylaşımı ile tüm gönderilen mesajların doğrulama kodunu hesaplayabilir. Ancak,

yayımlama (broadcast) türü iletişimde kaynak doğrulama için daha kompleks çözümlere ihtiyaç vardır.

- **Süreklilik:** KAA'ların servis devamlılığını servis reddi (denial-of-service DoS) saldırıları sırasında da devam ettirebilmesidir. DoS saldırıları KAA'nın her protokol katmanında gerçekleştirilebilirler ve seçilen kurban düğümleri etkisiz hale getirebilirler. DoS saldırılarına ek olarak aşırı iletişim ya da aşırı hesaplama yükü düğümün bataryasını beklenenden daha çabuk bitirebilir. KAA'nın sürekliliğinin sağlanamaması çok ciddi sonuçlara yol açabilir.

3.7. Algılayıcı Ağ Tasarımını Etkileyen Faktörler

Algılayıcı ağ tasarımını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar hata toleransı, ölçeklenebilirlik, güvenlik, maliyet, sınırlı donanım, algılayıcı ağ topolojisi, çevresel ortam, veri iletimi ve güç tüketimidir. Bu faktörler birçok araştırmacı tarafından çalışmalarda belirtilmiştir [7], [9], [19], [69]. Bununla beraber hiçbir çalışma tüm bu sorunları ortadan kaldıracak tam bir çözüm ortaya koyamamaktadır. Bu faktörler çok önemlidir, çünkü algılayıcı ağlar için bir algoritma veya protokol tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulmak zorundadır. Ayrıca diğer yöntemlerin karşılaştırılması içinde bu faktörler kullanılabilir.

3.7.1. Hata Toleransı

Bazı algılayıcı düğümleri güçlerinin bitmesinden dolayı hatalı veya bloke duruma geçebilir. Algılayıcı düğümlerin hatası ağ üzerindeki diğer algılayıcıların çalışmasını etkilememesi gerekmektedir. Bu duruma güvenilirlik veya hata tolerans çıkarımı denilmektedir [69]. Algılayıcı düğümlerden herhangi birisinin hatasından dolayı algılayıcı ağın fonksiyonlarını kaybetmemesine hata toleransı denilir [70], [71]. Bir algılayıcı düğümün güvenilirliği $R_k(t)$ veya hata toleransı belirli bir zaman içerisinde $(0,t)$ bir hataya sahip olmayan olasılıkları yakalamak için kullanılan hata dağılımı kullanarak modellenmektedir [69].

$$R_k(t) = \exp(-\lambda_k t) \quad (3.1)$$

Burada λ_k k algılayıcı düğümündeki hata oranı, t ise zaman periyodudur.

Protokol ve algoritma tasarımında algılayıcı ağlar tarafından gerekli hata tolerans oranları belirlenmelidir. Eğer algılayıcıların konumlandırıldığı ortam çok az parazitli ve dış

etkilere sahipse bu durumda gerçekleştirilen protokolün çalışması çok rahat olacaktır. Örneğin algılayıcılar bir evde nem, sıcaklık gibi değerleri ölçmesi için yerleştirildiyse ev ortamında çevresel etkilerin az olması ve düşük risklerden dolayı gerekli hata tolerans oranı az olacaktır. Eğer algılayıcılar savaş alanına gözetleme ve yakalama için yerleştirildiyse hata tolerans oranı yüksek olacaktır. Çünkü tespit edilecek bilgi önemli ve kritiktir. Sonuç olarak hata tolerans oranının seçimi algılayıcı ağı uygulandığı ortama bağlı olarak değişmektedir.

3.7.2. Ölçeklenebilirlik

Ölçeklenebilirlik kavramı ağı genişlemesi veya küçülmesi durumunda ağı ve ağ performansının etkilenmesidir. Ağ içerisine yerleştirilecek olan algılayıcı sayısı yerine göre yüzlerce veya binlerce olabilmektedir. Uygulamaya göre bu sayı çok yüksek sayılara yani milyonlarla ifade edilen sayılara çıkabilmektedir. Yoğunluk olarak 10 metre çapında bir alanda birkaç algılayıcı veya yüzlerce algılayıcı olabilir [71]. Algılayıcı sayısının yoğunluğu bu nedenle hesaplanması gereken bir kavramdır. Belirli bir alandaki algılayıcı yoğunluğu denklem (3.2) ile hesaplanmaktadır [64].

$$\mu(R) = (N\pi R^2)/A \quad (3.2)$$

Burada N, bir A bölgesi içerisinde dağıtık algılayıcı düğümlerinin sayısı, R iletimin yapılacağı sinyal aralığıdır. Bunlara göre $\mu(R)$ A bölgesi içerisindeki her bir düğümün iletim yarıçapı içindeki düğümlerinin sayısını verir.

Buna ek olarak, bir bölgede düğümlerin sayısı düğüm algılayıcı yoğunluğunu göstermek için kullanılabilir. Düğüm sayısı uygulamaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin makine tanı uygulaması için, düğüm yoğunluğu 5x5 m² bölge yaklaşık 300 algılayıcıdır. Araç takip uygulaması için yoğunluk her bölge başına yaklaşık 10 algılayıcı düğümdür. Genelde yoğunluk 20 algılayıcı düğümü/m³ gibi yüksek seviyelere de çıkabilmektedir. Bir ev için düşünülürse algılayıcı düğümleri iki düzine aleti içerebilir, eğer düğümlere mobilya ve diğer çeşitli öğeleri eklenirse bu sayı artacaktır. Habitat izleme uygulaması için, algılayıcı düğümlerin sayısı, her bölge için ortalama 25 ila 100 arasında değişmektedir [72]. Bu oran çok daha yükseklerle çıkabilmektedir, eğer bir kişi bir stadyum içinde bir oyunu izlerken oturuyor ise kişiyi algılamak için insan vücudunda bulunan birçok kriter göz önünde bulundurulması gerekir. Buda algılayıcı sayısının yüzlerle ifade edilen sayılara ulaşması demektir [72].

3.7.3. Güvenlik

Algılayıcı ağlar kullanılacakları uygulama ortamına bağlı olarak tehlike oluşturabilecek alanlarda da çalışabilirler. Bu nedenle güvenlik önlemleri önceden alınmalı ve sistem içerisine tasarım aşamasında eklenmelidir. Oluşabilecek saldırı ve sahte isteklere karşı ağ korunarak güvenlik sağlanmalıdır. KAA'lar geleneksel ağlara göre tehlikeli durumlara karşı savunmasızdır. Ağ içerisine ağ dışından giren bir tehlike algılayıcı düğümlerini yanıltarak verileri değiştirebilir, verileri okuyabilir, istenmeyen isteklerde bulunarak ağı sabote edebilir ve böyle ağ kaynaklarını gereksiz kullanabilir. Buda istenen performans değerlerinin elde edilememesine neden olur. Kablolu ağlarda ağ yayınları kablolar üzerinden gerçekleştirilir, fakat kablosuz algılayıcılar veriyi dış ortam üzerinde iletir. Bu nedenle algılayıcılar üzerinde güvenlik önlemleri almak gereklidir. Alınacak güvenlik önlemleri şifreleme algoritmaları, istekleri tanımak için kimlik doğrulama mekanizmalarıdır [73].

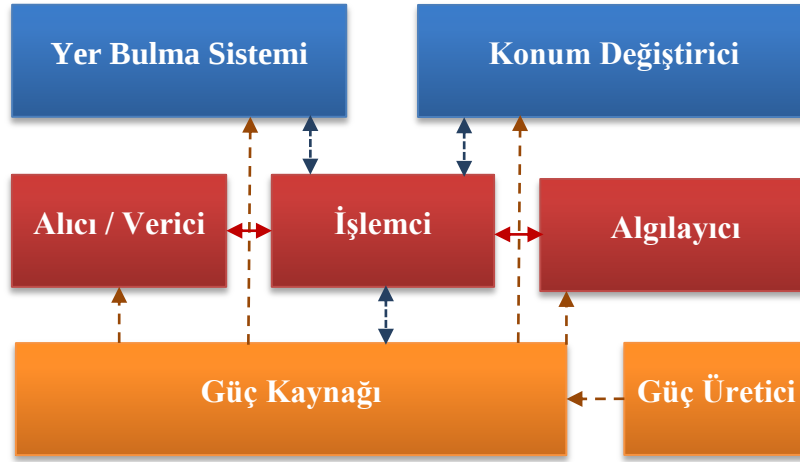
3.7.4. Maliyet

Maliyet kavramı KAA'larda ikiye ayrılır. Bunlar uygulama ve üretim maliyetleridir [61]. Ağda kullanılacak algılayıcının maliyetinin yüksek ve sınırlı olması durumunda maliyet önemli bir kavram olmaktadır. Ağ maliyet algılayıcı maliyeti ile doğrusal olarak artar. Ağ maliyetleri çıkarılırken bir algılayıcının maliyeti en önemli etkidir. Bu nedenle genel ağ maliyetlerini düşürebilmek için bir algılayıcı maliyetini düşürmek gerekir. Literatürde kabul edilen değer olarak bir algılayıcı maliyeti bir dolardan ucuz olmalıdır [74]. Ayrıca bunlara ek olarak algılayıcıların üzerine eklenecek diğer birimlerde maliyeti etkileyen faktörlerdendir. Algılayıcıya eklenecek her özellik maliyeti doğrudan arttırmaktadır. Bu nedenle maliyet sınırlarının içerisinde kalmak için işlevsellikleri sınırlandırmak ve algılayıcı maliyetini kontrol etmek oldukça zordur.

3.7.5. Sınırlı Donanım

Algılayıcı düğümleri çeşitli birimlerden oluşmaktadır. Temel bir algılayıcı birimi dört birimden oluşur. Bunlar alıcı-verici birimi, güç birimi, algılayıcı birimi ve işlem birimidir. Bazı uygulamaların gereksinimlerine göre de ek birimler gelebilmektedir [49]. Örneğin bir konum belirleme sisteminde güç adaptörü, hareketlendirme üniteleri gibi ek birimler eklenebilir. Algılayıcının yapacağı işleme bağlı olarak elde edilen analog işaretler analog dijital dönüştürücüler ile dijital işaretlere dönüştürülür. Sonrasında işlem birimine iletilir.

İşlem biriminin görevi üzerinde bulunan küçük boyutlu hafızayla algılama işlemlerini yapma ve iletişim kurması gereken diğer algılayıcı düğümleri ile iletişim kurarak protokolleri uygulamaktır. Alıcı- verici birimi ise algılayıcıyı ağın bir parçası yapar. Burada algılayıcının en önemli birimi güç birimidir. Çünkü yukarıda bahsedilen işlevlerin gerçekleştirilebilmesi güç biriminin varlığıyla olmaktadır. Güç üniteleri yedeklemeyle veya güneş enerjisi ile kendini doldurması gibi yöntemlerle desteklenebilmektedir. Bir algılayıcının iç bileşenleri Şekil 3.7'de gösterilmektedir [49].



Şekil 3.7. Algılayıcı iç bileşen yapısı

Harekete geçirici birim ise verilen görevlerin icrası sırasında ihtiyaç olduğu durumda algılayıcının taşınması gerekebilir. Burada verilen bu birimlerin hepsi çok küçük boyutta bir modül de olması gereklidir. Ayrıca algılayıcılar belirli kısıtlamalara sahiptir. Bunlar;

- Güç tüketimi az olmalıdır.
- Farklı ağ yapılarında çalışabilmelidir.
- Üretim maliyetleri az olmalıdır.
- Birbirlerinden bağımsız çalışabilmeli ve sürekli gözlemlenmesi gerekmemelidir.
- Ağa uyum sağlamalıdır.

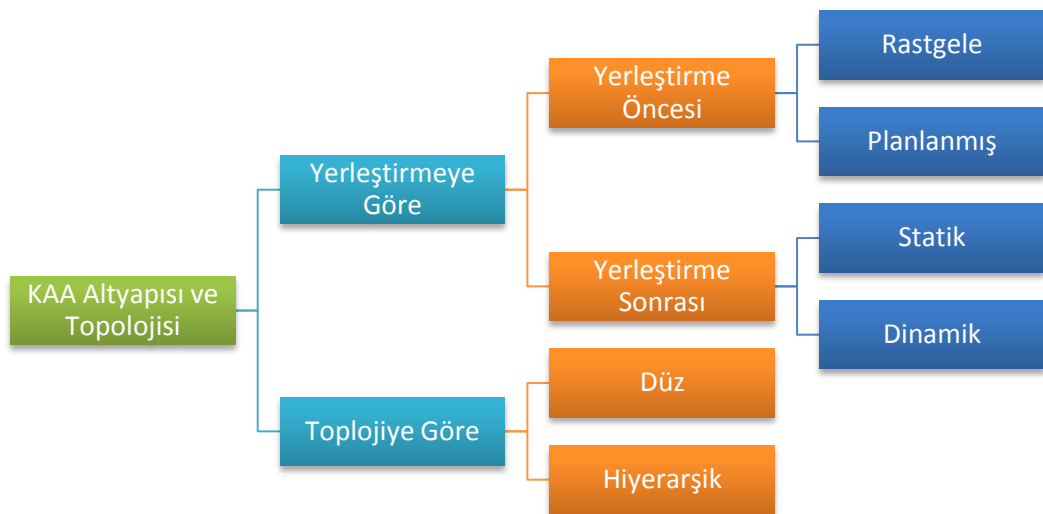
Algılayıcı ağlar genellikle ulaşımı zor ve olanaksız olan bölgelerde kullanılır. Bu nedenle ağ ömrü güç kaynaklarının ömrüne bağlıdır. Algılayıcılar lityum iyon pillerle çalıştırılmaktadır. Çeşitli enerji üretim yöntemleriyle pil ömürleri uzatılarak ağın ömrü uzatılabilmektedir [61]. Ayrıca ağ içerisinde kullanılan yönlendirme algoritmaları ve protokollerin optimizasyonu ile de ağ ömrü uzatılabilmektedir. Enerji üretimi yöntemine en tipik örnek güneş pilleri kullanımıdır [75].

Yüksek programlama işlemlerinin küçük işlemciler tarafından yapılmasına karşın işlem ve hafıza birimlerinin kısıtlı kaynak olmasına devam ettirmektedir. Mesela küçük Smart Duse Mote modelinin işlem birimi 4 Mhz hızında Atmel AVR8535 ve hafızası 8 KB, ram ve eeprom belleği 512 bitdir [76]. Bu işlemci üzerinde TinyOs işletim sistemi kullanılmıştır.

Algılayıcıların ilk görevi kendi konumunu belirlemektir. Algılayıcılar konumdan ve gözetimden bağımsız ağ ortamına yerleştirildiğinden ek bir konum bulma sistemiyle birleştirilmesi gerekir. Bu işlevi genelde kabul gören GPS sistemi sağlamaktadır. Konum bilgisi sadece algılayıcının konumu için değil istenen özellikleri sağlaması için algoritma tarafından da talep edilmektedir [77].

3.7.6. KAA Topolojisi ve Ağ Altyapısı

KAA'larda genel kabul edilen bir ağ altyapısı yada topolojisi yoktur. Topoloji kullanılacak uygulamaya bağlı olarak değişiklik gösterir [78]. Uygulamalardaki farklılık fiziksel konum, ağ yapısı ve diğer düğümlerden etkilendiği için tek bir topolojiden bahsedilememektedir. Bir orman uygulamasında algılayıcının havadan rastgele atıldığını düşünürsek belki ortamda 20 düğüm/m³ algılayıcı olabilir [76]. Algılayıcılar genellikle altyapıdan yoksun bölgelerde kullanılır. Önemli olan ağ yapısının istenilen özellikleri karşılar seviyede olmasıdır. Bu nedenle ağ yapısı üç ayrı fazda incelenir. Bu fazlar Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. KAA altyapısı ve topolojisi [79]

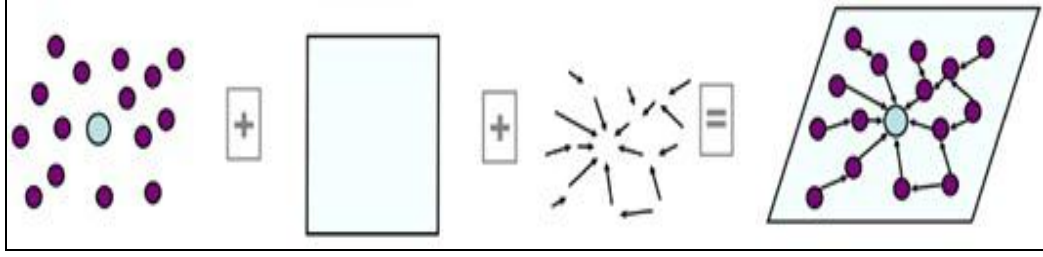
3.7.6.1. Yerleştirmeye Göre Ağ Yapısı

Yerleştirmeye göre ağ yapısı iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar yerleştirme öncesi ön hazırlık ve yerleştirme sonrası aşamalarıdır.

- **Yerleştirme Aşaması ve ön hazırlık:** Algılayıcılar kullanılacak ortama çeşitli yöntemlerle yerleştirebilir. Bunlar uçaktan atılarak, roket veya füzeler ile gemi güvertesinden rastgele, fabrikada belirli yerlere veya bir robot aracılığıyla tek tek yerleştirilebilir. Burada önemli olan algılayıcıların nokta kurulum maliyetlerinin düşük olması, önceden planlama gereksinimini ortadan kaldırması, düzenlemede esneklik sağlaması ve hata toleranslarına sahip olmasıdır. Algılayıcıların kullanılacağı uygulamaya ve ortama göre bu aşama iki gruba ayrılır [80]. Bunlar rastgele ve planlanmış tasarımıdır. Rastgele yapısı örneğin savaş alanı takibi, orman yangınlarının algılanması ve buna benzer uygulamalarda kullanılır. Planlanmış yapı ise evlerde kullanılan ölçümler, köprülerde ve evlerde depremsel etkilerin tespiti gibi uygulamalardan kullanılır. Rastgele dağılım genellikle büyük lekli KAA' larda kullanılır. Büyük ağlarda algılayıcıların planlı bir şekilde yerleştirilmesi zor olmaktadır. Bu nedenle algılayıcılar ortam içerisinde genellikle belirli formda değildir. Rastgele ortama atıldıklarından dolayı algılayıcılar bu işlem sırasında zarar görebilmektedir. Bu nedenle güvenilirlik açısından iyi bir yöntem değildir. KAA' larda istenen performans değerlerine ulaşmak için genelde algılayıcıları belirli bir mantık içerisine yerleştirilmesi gereklidir.
- **Yerleştirme Sonrası:** Bu aşamada ise algılayıcılarda meydana gelen sıkışma, gürültü, çevresel etkiler, sinyal ulaşımını engelleyen etkiler nedeniyle konuma bağlı uzaklık, enerji ve istenen özellikler değişimlere uğrayabilir [80]. Buda beraberine topoloji değişikliklerine neden olur. Burada algılayıcı enerjisinin tükenmesi veya sinyal kaygından dolayı algılayıcıdan haber alınamaması KAA'lar için normal bir durumdur. Buda yerleştirme aşamasından sonra ağ topoloji değişikliklerinin sık olması anlamına gelmektedir.

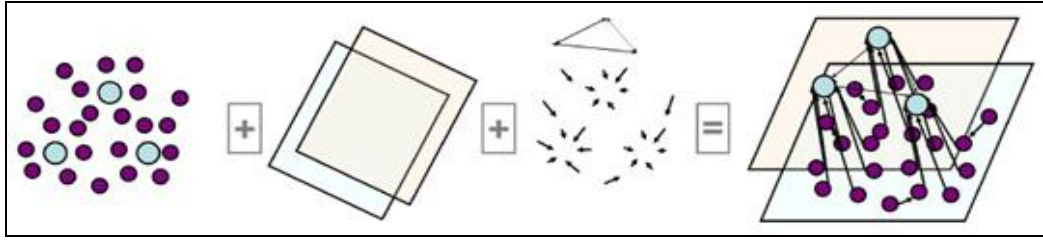
3.7.6.2. Topolojiye Göre Ağ Yapısı

Topoloji yaklaşımında ise genellikle belirli standartlar vardır ve algılayıcılar bu standartlara uymak zorundadır. Düz ağ yapıları genellikle algılayıcıların homojen dağıldığı ve baz istasyonu kullanıldığı yapılardır. Yapıları daha basittir ve kk alanlarda rahatlıkla uygulanabilmektedir. şekil 3.9' da bir düz ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Düz ağ yapısı [69]

Hiyerarşik yapılar KAA uygulamalarında genellikle tercih edilen yapıdır. Burada homojenlik veya tek bir baz istasyonu yoktur. Baz istasyonu sayısı birden fazla olabilmekte ve algılayıcıların homojen dağılımı gerekmemektedir. Buda karmaşıklığın artmasına neden olmakta fakat uygulama genişliğini sağlamaktadır. Şekil 3.10' da hiyerarşik ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Hiyerarşik ağ yapısı [69]

3.7.7. Çevresel Ortam

KAA'lar oluşturulurken algılayıcılar kullanılacakları alan içerisine yakın veya tam alan içerisine yoğun sayıda yerleştirilir. Kullanım ortamları genelde uzak coğrafi alanlardır ve burada gözetimsiz olarak çalışmaktadır. Bu ortamlar okyanus, orman, savaş alanı, deprem enkazı gibi alanlar olabilmektedir. Ortam şartları aşırı soğuk veya sıcak, aşırı basınçlı, sıkışık ve ortam gürültüsü çok olan yerler olabilir. Bu nedenle tasarım yapılırken ortam şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde ortamdan kaynaklanacak sorunlar ağın çalışma performansını etkileyebilmektedir [7].

3.7.8. Veri İletimi

Algılayıcılar arasındaki bağlantı çeşitli yollar ile sağlanabilmektedir. Bunlar radyo sinyalleri, kızıl ötesi, uydu, bluetooth veya optik ortamlar tarafından sağlanabilir. Genellikle tercih edilen yöntem radyo frekansı üzerinden iletişimidir. Örneğin AMPS

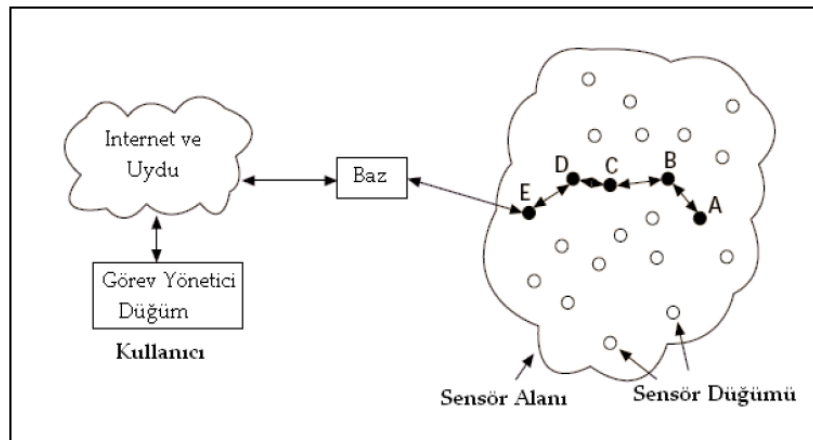
algılayıcısı üzerinde bulunan bir frekans üreticisiyle Bluetooth bağlantılı 2.4 Ghz alıcı ve verici birimden oluşur. Ayrıca algılayıcı antenleri diğer kablosuz cihazlarındakine göre daha küçük veya düşük güce sahip olabilir. Burada seçilecek veri iletim ortamı istenen özellikleri sağlayacak farklı iletim kanal özelliklerini destekleyen, etkili kodlama ve modülasyon yöntemlerini destekleyip kullanabilmelidir [79].

3.7.9. Güç

Daha önce anlatıldığı gibi algılayıcıların uygulama içerisindeki temel görevi istenen olayı gözlemleyip tespit etmek, diğer algılayıcılar ile iletişim kurmak, gerekli bağlantı yollarını sağlamak ve verileri ana izleyici düğüme iletmektir. Bu işlemlerin hepsini yaparken algılayıcının güç tüketimi çok önemli bir unsurdur. Gücü etkin kullanmayan tasarımlar bu görevleri gerçekleştirirde sorunlar yaşayabilmektedir [62].

3.8. KAA Mimari Yapısı

KAA mimari yapısı gerçekleştirilecek çalışmalar için büyük önem arz etmektedir. Uygulama ortamında gerçekleştirilmek istenen çalışmaların, mimari yapı içerisinde standartlara uyulması gerekmektedir. KAA içerisinde algılayıcılar genellikle ortam içerisine dağıtılmış bir yapıdadır. Algılayıcı düğümler diğer algılayıcılardan gelen verileri ve kendi elde ettiği verileri baz istasyonuna gönderme kabiliyetindedir. Ağ içerisindeki algılayıcılar ve baz istasyonu internet yada gps aracılığıyla haberleşmektedir. Temel bir haberleşme mimari yapısı Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Bu yapıda önemli olan nokta baz istasyonunun ve algılayıcıların kullandığı protokol kümesidir.



Şekil 3.11. Temel haberleşme mimari yapısı [7]

Algılayıcılar arası ve baz istasyonu arasındaki haberleşme yöntemlerini ve kurallarını protokol kümesi belirlemektedir [7]. Bu kurallar güç kullanımı, veri yönlendirme mantığı, ağ kurma yöntemi gibi kavramları belirler. Protokol kümesi ise katmanlı bir yapıya sahiptir. Protokol kümesinin yapısı Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Protokol katman yapısı [7]

Yapı 5 farklı katmanı içermektedir [7]. Bu katmanlar uygulama katmanı, iletim katmanı, ağ katmanı, veri bağlantı katmanı ve fiziksel katmandır. Aynı zamanda bu beş katman üç düzlem üzerinde çalışmaktadır. Düzlemler ise güç yönetim düzlemi, taşınırılık yönetim düzlemi ve görev yönetim düzlemidir. Katmanların çalışması belirtilen üç düzlemdeki işlemleri sağlamalıdır.

Fiziksel katman ağ içerisindeki algılayıcılar ve baz istasyonu arasındaki bağlantı şeklini belirler.

Veri bağlantı katmanı veri iletim ve alım işlemlerindeki adreslemeyi yapar. Adresleme işlemi için ortam erişim kontrolü olan MAC protokolünü kullanır. Kullanılacak MAC protokolü gücü göz önünde bulundurarak algılayıcılar arası iletimdeki yayın çarpışmalarını azaltabilmelidir.

Ağ katmanı protokol kümesi içerisindeki en önemli katmandır. Çünkü uygulama katmanından iletim katmanı aracılığıyla gelen verilerin yönlendirilmesinden sorumludur. KAA’larda yönlendirme en önemli unsurdur. Çünkü bölüm 3.7’de belirtilen kısıtlamaların giderilmesi bu katmanda gerçekleştirilecek yönlendirme yöntemleri ile olabilmektedir.

Güç yönetim, taşınırılık yönetim ve görev yönetim düzlemleri algılayıcıların güç durumlarını, davranışlarını ve görev dağılımlarını ortam üzerinde sürekli izler. Bu düzlemler belirtilen işlemlerin koordineli bir şekilde yapılmasını sağlar. Bu düzlemlerin çalışması bir örnek üzerinde şöyle açıklanabilir. Herhangi bir algılayıcı, komşu bir algılayıcıda haberleşme verisi aldıktan sonra kapanabilir. Bu mesaj alımını durdurabilir. Ayrıca algılayıcı güç seviyesi kritik düzeylere geldiğinde komşu algılayıcılara kendi üzerinden mesaj yönlendirmesi yapılamayacağını bildirir. Kalan gücünü sadece algılama işlemini yapıp veriyi baz istasyonuna iletmek için kullanır. Bu durumda taşınırılık yönetim düzlemi algılayıcıların davranışlarını sürekli tespit edip kayıt etmektedir. Böylece bu algılayıcının veriyi yönlendirememesi durumunda alternatif iletim yolunu sunar. Ayrıca sürekli hareketleri tespitinden dolayı her algılayıcı komşu algılayıcının kim olduğunu izler. Bu sayede algılayıcılar güç ve görev kullanımı arasındaki dengeyi sağlayabilir. Güç yönetim düzleminin görevi ise algılayıcıların güçlerini etkin kullanmasını sağlamaktır. Bir ağ içerisindeki tüm algılayıcıların aynı anda algılama işlemi yapması gerekmeyebilir. Güç durumlarına bağlı olarak bir bölgedeki algılayıcılardan birkaç tanesinin gücü azaldığında diğer algılayıcıların bunlara göre daha fazla algılama yapması istenebilir. Bu nedenlerle yönetim düzlemleri algılayıcı ağlar içerisinde etkin güç kullanımı, veriyi yönlendirme ve kaynak paylaşımı için gereklidir.

KAA protokol kümesi içerisinde anlatılan ağ katmanı, çalışmaların çoğu için en önemli katmandır. Çünkü yönlendirme işlemi bu katmanda gerçekleşmektedir. Çalışmamızın temelini de ağ katmanı oluşturmaktadır.

3.9. KAA’larda Yönlendirme Protokolleri

KAA’larda yönlendirme en önemli çalışma konularının başında gelmektedir. KAA tasarımı için yukarıdaki bölümde belirtilen tüm sorunlar yönlendirme protokolleri kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle önerilen algoritmalar farklı amaçları elde etmeye odaklanmıştır. Yapılan çalışmalar ağın yapısına ve protokol işlemleriyle etkin yönlendirmenin elde edilmesi şeklinde ikiye ayrılmaktadır [9].

Ağ yapısına göre önerilen yönlendirme protokolleri düz ağ tabanlı, hiyerarşik ağ tabanlı ve konum belirleme tabanlı olarak 3’e ayrılmıştır.

- Düz ağ yapısı tabanlılarda ağdaki tüm algılayıcı düğümler aynı görev ve fonksiyonları yerine getirir.

- Hiyerarşik ağ tabanlı yönlendirme işlemlerinde ağdaki algılayıcı düğümler farklı görevler üstlenmektedir.
- Konum tabanlı ağlarda ise ağdaki algılayıcıların konum bilgilerine bakılarak yönlendirme yapılmaktadır. Bu kategoride bir yönlendirme protokolünün kabul edilebilmesi için sistem parametrelerinin ağ yapısına uygun şekilde kontrol edilebilmesi gerekmektedir.

Protokollerin işlenmesi kısmında ise yönlendirme için ağ yapısına göre geliştirilen protokollerin biri veya birkaçının altyapıları kullanılarak, amaca göre yeni protokoller geliştirmek ya da çeşitli yazılımsal yöntemlerle ağ gereksinimlerini karşılamak amaçlanmıştır. Bu başlık da çoklu yol tabanlı, hizmet kalitesi tabanlı, sorgu tabanlı, müzakere tabanlı ve tutar tabanlı olarak 5'e ayrılmaktadır [9].

- Çoklu yönlendirmede kaynak ile hedef arasında tek bir yol yerine birden fazla alternatif yolların nasıl tanımlanabileceği üzerine durulmuştur.
- Servis kalitesi tabanlı yönlendirmede amaç ağ üzerinde sunulan hizmetin kalitesini en üst düzeyde tutmaktır. Ağın hizmet kalitesine en az gecikme, etkin bant genişliği ve enerji kullanımlarına bakılarak karar verilir.
- Sorgu tabanlı yönlendirmede yönlendirmenin yapılabilmesi algılayıcı düğümler arasındaki çeşitli sorgulara bağlıdır. Düğüm ancak sorgunun kendisi ile eşleştiğinde ilettime geçmektedir.
- Müzakere tabanlı yönlendirmede ağda gereksiz veri gönderimi engellemek için çeşitli yüksek seviyeli tanımlayıcılar kullanılır. Bu tanımlayıcılar algılayıcılar tarafından sağlandığında veri iletimi sağlanır.
- Uyum tabanlı yönlendirmede farklı veri işleme teknikleri kullanılarak yönlendirme yapılır.

Bu doktora çalışması servis kalitesi tabanlı çoklu yönlendirme algoritması tasarımı olduğu için bütün önerilen yöntemler yerine sadece çoklu yönlendirme ve servis kalitesi tabanlı çalışmaları üzerinde durulmuştur. Bundan sonraki bölümde bu algoritmalar ve kavramlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4. ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMALARI ve SERVİS KALİTESİ ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş

Bu bölümde ilk olarak çoklu yönlendirme kavramı verilecek ve literatürde bu alanda yapılmış çalışmalar açıklanacaktır. Sonrasında bu tez çalışmasının konusu olan servis kalitesi kavramının literatürde nasıl tanımlandığı ve yapılmış çalışmalar gösterilecektir. Ayrıca servis kalitesi kısıtlamalarından bahsedilecektir. Böylece önerdiğimiz çalışmanın diğer çalışmalardan farkını anlaşılması sağlanmış olacaktır. Bu bölümde açıklanan konular Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çoklu yönlendirme algoritmalarında ele alınan konular

4.2. Çoklu Yönlendirme Kavramı ve Gelişimi

Çoklu yönlendirme (ÇY), trafik dağılımı olarak adlandırılan ve yönlendirme çalışmaları açısından en önemli tekniklerden biridir [81]. Çoklu yolları kullanmayan yönlendirme yöntemleri bir kaynak düğüm (KD) ile bir toplayıcı düğüm (TD) arasındaki en az maliyetli yolu seçme mantığına göre tek yöllü yönlendirme tabanlı çalışmaktadır [82]. Böyle bir sistemde diğer düğümler yönlendirici düğüm (YD) olarak görev yapar. Ancak bir kaynak ile toplayıcı arasındaki bağlantıyı sağlayacak çeşitli birbirinden farklı yollar olabilmektedir. Çoklu yönlendirme kavramı belirli bir hedef için birden fazla yolu

herhangi bir zamanda, ağın arka plandaki bağlantısının yedekli olmasından yararlanarak hedefe ulaşmak için sunabilmektedir. Temel çoklu yönlendirme kavramında herhangi bir zamandaki trafik akışı veya eşzamanlı trafik birden fazla yolu dönüşümlü olarak kullanılabilir.

ÇY ilk olarak Maxemchuk tarafından 1993 yılında önerilmiştir [83-85]. Çalışmada paket anahtarlama ağındaki hata ayıklama ve yük dengelemeli olarak zamanda uzayda bir trafiği iletmek amaçlanmıştır. Bu yöntem yük dengelemek ve ağ kullanımını arttırmak için yedekli yolların kullanılabileceğini göstermiştir. Bu işlem ağ üzerinden daha fazla veri gönderimine karşın paket kayıplarına ve gecikme sorunlarının çözümüne yardımcı olmuştur.

Bu çalışmadan sonra ÇY teknikleri iletişim ağları, B-ISDN, ATM ağlar gibi çeşitli ağ uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca çeşitli ağ kontrol ve yönetimlerinde bant genişliği toplama, gecikmeyi en aza indirme, servis kalitesi desteği, trafiği yumuşatma, ağ trafiğini hafifletme ve hata toleransı geliştirmek için birçok çalışma yapılmıştır [21], [86], [87].

Mobil Ad-Hoc ağlar (MANET) ve KAA'lar son yıllardan büyük ilgi görmektedir. MANET herbiri birbirinden bağımsız hareket edebilen ve kablosuz cihazlar ile iletişim kuran düğüm grubu olarak isimlendirilir. MANET'ler KAA'lara birçok özelliği ile benzese de, kullandıkları düğüm sayısı olarak birbirlerinden çok farklıdır [7]. KAA'lar MANET'lere göre oldukça fazla sayıda düğüm içermektedir. Yapısal benzerliklerinden dolayı çoklu yönlendirme yöntemleri her iki ağ yapısı içinde birçok fayda sağlamaktadır. Her iki ağ yapısında da sınırlı kaynak, sık ağ topoloji değişiklikleri, güvensiz iletişim hizmetleri gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Araştırmacılar çoklu yönlendirmeyi veri teslim sağlamlığı [88], trafik ve düğümler arasında güç tüketimin dengelemek [89], uçtan uca gecikmeyi ve rota keşiflerindeki frekansı azaltarak servis kalitesi sağlamak [90], ve ağ güvenliği elde etmek için kullanmıştır [91]. Çalışmalarda iki teknik üzerine odaklanılmıştır. Bunlar çoklu yönlendirme teknikleri ile istenilen özelliklere sahip birden fazla yolu bulmak, bulunan çoklu yolların kullanımını ve çoklu yollar arasında trafik dağılımını sağlamak üzerine dağıtım politikalarıdır.

4.3. Çoklu Yönlendirmenin Performans Üzerine Faydaları

Çoklu yönlendirme teknikleri farklı tipte ağlarda farklı ağ yönetim ve kontrol uygulamaları için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda ağın performansı üzerine çeşitli faydalar sağlandığı görülmüştür [92]. Bu faydalar;

- Trafiğin yumuşatılmasını sağlamak
- Servis kalitesi desteği sağlamak
- Yük-enerji tüketimi dengelemesi
- Hata toleransı sağlamak
- Ağ tıkanıklığını hafifletmek
- Uçtan uca gecikmeyi azaltmak
- Rota keşiflerindeki frekansı azaltmak
- Ağ güvenliği sağlamak
- Gönderilen bilginin gizliliğini sağlamak
- Algılayıcı düğümler arasında daha homojen bir güç dağılımı yaparak, ağın ömrünü uzatmak

şeklinde sıralanmaktadır.

4.4. Çoklu Yönlendirme Çalışmaları

Yapılan literatür araştırmalarına göre çoklu yönlendirme algoritmaları aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır. Bu algoritmaların kullanım amaçları ve elde ettikleri faydalar farklılık göstermektedir.

- Alternatif Yol Yönlendirmesi (APRP)
- Eşzamanlı Çoklu Yönlendirme (CMRP)
- Enerji Farkındalıklı Yönlendirme (EARP)
- Kaynak Yönlendirme (SRP)
- Yayınım Yönlendirme (DRP)
- Sıra Atamalı Yönlendirme (SAR)
- Enerji Etkili İkincil Yol Yönlendirme
- Çok yollu yönlendirme üzerinden eşzamanlı iletimler
- Çeşitli yönlendirme yollarından birinin rastgele seçimi

4.4.1. Alternatif Yol Yönlendirmesi

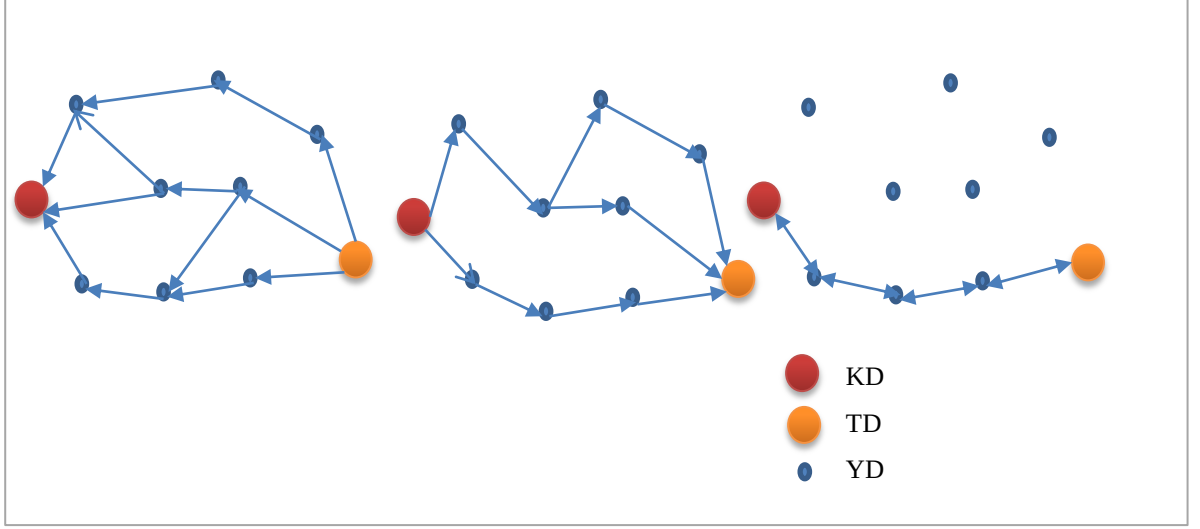
Alternatif yol yönlendirmesi (Alternate Path Routing Protocol- APRP) olarak [93]' da sunulmuştur. Çalışmada her bir algılama düğümü veri toplayıcıya ulaşılacak alternatif yolları bir veritabanının da tutmaktadır. Veritabanı veri toplayıcıya ulaşılacak tam yolları veya ulaşım için bir sonraki gitmesi gereken düğümün bilgisini içerebilmektedir. Veritabanında bulunan alternatif yollardan ilk yol başarısız olduğunda veri iletimi için birinci yol olarak algılayıcı düğüm diğer bir yolu seçmektedir. Veri toplayıcıya ulaşılacak farklı yolların kümesi birleşik yollar veya ayrık yollar olabilmektedir. Bu yöntemin çıkışı MANET'lere dayanmaktadır. MANET' lerde kullanılabilir olmasından dolayı KAA'larda da kullanılmıştır [59] , [94], [95].

4.4.2. Eşzamanlı Çoklu Yönlendirme

Eşzamanlı çoklu yönlendirme (Concurrent Multipath Routing Protocol -CMRP) [88] 'de sunulmuştur. Çalışmada veri trafiğinin yönlendirilmesi aynı anda birden fazla yoldan verinin iletilmesi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem MANET'ler de verimlilik, güvenilirlik, yük dengesi ve güvenlik geliştirmek için önerilmiştir. Bunlar için bir kaynak kodlama şeması ve bazı yedeklemeleri eşzamanlı çoklu yönlendirme arasında bir ilişki kurmak için kullanılmıştır. Bu özelliklerinden dolayı KAA uygulamalarında da kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle KAA'larda da bu yöntem kullanılmıştır [78], [95].

4.4.3. Enerji Farkındalıklı Yönlendirme

Enerji farkındalıklı yönlendirme (Energy Aware Routing -EAR) [96] 'de sunulmuştur. Çalışmanın ana hedefi TD'ye giden en kısa ve en iyi yolu bularak tüketilen toplam enerji miktarını minimize etmektir. Yöntemde farklı düğümlere sahip heterojen bir ağda, farklı güç tüketimi seviyelerine sahiptir. Herhangi bir yol kullanılamaz duruma geldiğinde ilk tercih edilecek yol minimum enerji tüketimine sahip yoldur. Sonuç olarak düğümlerden herhangi birinin erken ölü duruma geçmesi ağ hatalarının oluşmasına ve ağın parçalanması gibi sonuçları doğurabilir. Her zaman farklı yönlendirme yollarını kullanarak çoklu yönlendirme yapılması fikri bu sorunun çözümü olarak önerilmiştir. Verinin gönderilmesi için kullanılan yönlendirme yollarının değiştirilmesinden dolayı ortalama ağ yaşam ömrü artabilmektedir. Bu teknik MANET'ler ve KAA'lar için önerilmiştir [89].



Şekil 4.3. Yayınım yönlendirme

4.4.6. Sıra Atamalı Yönlendirme

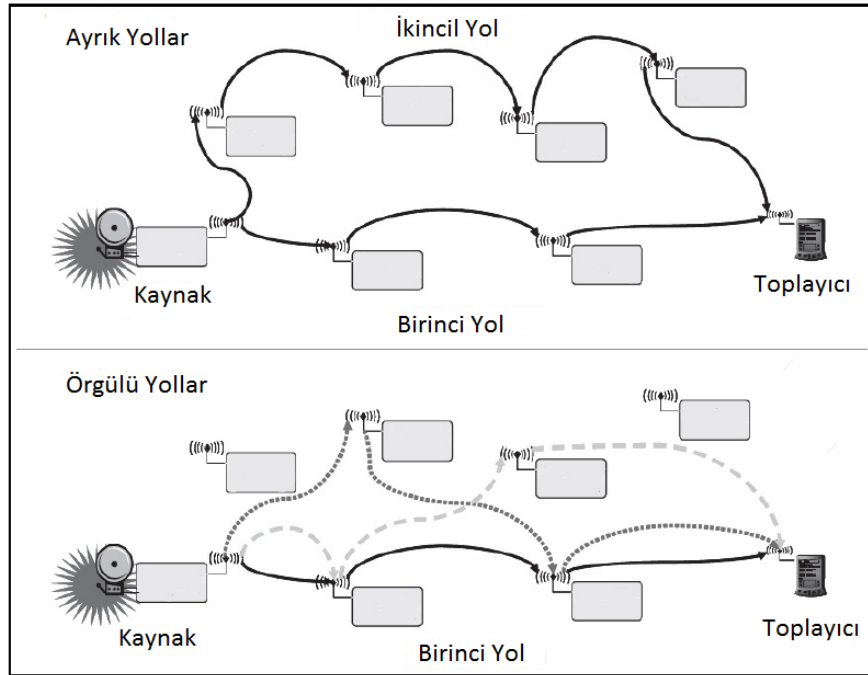
Sıra Atamalı Yönlendirme (Sequential Assignment Routing-SAR) [22]' de sunulmuştur. Bu çalışma çoklu yönlendirme servis kalitesi için önerilen ilk ve tek çalışmadır. Çalışmada N-ayrık yolları hesaplama bir tekli yol protokolünün çalışmasından N kez daha fazla yük getirdiği gösterilmiştir. Bu nedenle yüke etki eden çoklu yolları azaltmak için toplayıcıya yakın farklı komşuluklar ile sadece gerekli yolları kullanmaktadır. SAR algoritmasında yönlendirme 3 faktöre bağlıdır. Bunlar enerji kaynaklarının kullanımı, her yol üzerindeki servis kalitesi ve her paketin hangi sırada gideceğini belirleyen öncelik seviyeleridir. Bir kaynak algılayıcı düğüm ile hedef arasında çoklu yollar oluşturmak için, TD'ye ulaşılacak hedef düğümler bir ağacın parçaları olarak tanımlanır. Ağaçtaki yollar servis kalitesi garantisi yada düşük enerji tüketimine göre oluşturulur. Bu işlemler sonunda her bir düğüm çok yollu oluşturulan ağacın birer parçası olur. SAR tablolar kullanarak, çok yollu yönlendirme kullanan ve hata toleransı, gecikme ve enerji tüketimini amaçlayan bir yöntemdir.

4.4.7. Enerji Etkili İkinci Yol Yönlendirme

Enerji etkili ikinci yol yönlendirme (Energy Efficient Secondary Paths Routing) [89]' de sunulmuştur. Bekleme modundaki yollar olarak çoklu yollar kullanıldığı zaman optimal birincil yol ile ikinci yollar karşılaştırıldığında enerji etkisi üzerine açık bir etkisi olduğu görülmüştür [89]. Çalışmada ikincil yolları optimal birincil yollar ile enerji verimliliği

açısından karşılaştırarak ikincil yolların yönlendirme boyunca pil kapasitesi veya benzer ölçümlerde sorun olmadan nasıl yönlendireceği üzerine durulmuştur.

Kesin gerekli olan düğümler ile oldukça verimsiz ikincil yolları üretme eğilimde olan düğümleri çeşitli yollar arasından ayırmak gereklidir. Çünkü bu verimsiz yollar büyük ağın performansının olumsuz etkilemektedir. Bu sorunun üstesinde gelebilmek ve çoklu yönlendirmenin avantajlarından yararlanabilmek için örgülü yollar (Braided Paths) olarak isimlendirilen bir yapı önerilmiştir [98]. Bu örgülü yollar sadece birincil yolların birini dışarıda bırakır fakat, yol üzerindeki diğer düğümler kullanılır. Bu birincil yola yakın olabilen yollarda istenen gereksinim sonuçlarını ayırıştırılıp rahatlama sağlar. Bu nedenle birincil yola yakın benzer enerji verimliliği elde edilmesin sağlamaktadır. Bu yapı Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Birincil yol çevresindeki ayrık ve örgülü yollar

4.4.8. Çok Yollu Yönlendirme Üzerinden Eşzamanlı İletim

Çok yollu yönlendirme üzerinden eş zamanlı iletim (Simultaneous Transmissions over Multiple Paths Routing) yöntemi [90] ve [99] ‘da sunulmuştur. Teslim süresini ve paket teslim oranını arttırmak için aynı anda birden faz yolu ve birkaçını kullanmak düşünülebilir. Bunun için en basit fikir düğüm ayrık yollarını kullanmak ve hedefe giden bu farklı yollar üzerinden verinin birkaç kopyasının gönderilmesidir. Böylece tekrarlanan paket hata oranlarına karşı enerji ve kaynak kullanımı arasında bir ters orantı oluşmaktadır.

Çalışma [90]'da diğer çoklu yönlendirme yöntemleri ile eşzamanlı paket iletim yöntemini karşılaştırmıştır. Diğer çalışma [99]'da alıcı yolların sayısı ve yedeklik derecesi hata davranışlarına göre ayarlanmaktadır. Buda artıklı paket hata oranına karşı ek yük miktarını azaltmaktadır.

4.4.9. Çeşitli Yönlendirme Yollarından Birinin Rastgele Seçimi

Farklı yönlendirme yollarından birinin rastgele seçimi (Randomly Choosing One of Several Paths Routing) [100] ve [101] 'de sunulmuştur. Çoklu yollar elde edilirken, optimal yoldan daha az enerji etkili yolların kullanımı, ağı daha iyi pil kapasitesi kullanımı için düğümler arasında yük paylaşımını sağlamaktadır.

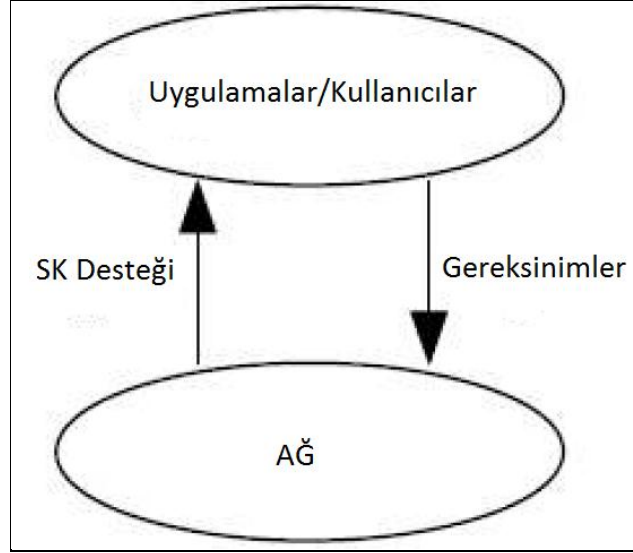
Kaynak [100]'de her bir düğüm hedef düğüme ulaşmak için yakın komşularının enerji maliyetleri bilgilerini alır. Bir paket yönlendirildiği zaman yakın komşulardan enerji tüketimi ile doğru orantılı olan yollardan birini rastgele seçer. Geliş yönündeki düğüm bu maliyetlerin uygun ağırlıklı ortalamasını alarak harmonik ortalama maliyetlerini hesaplar. Bu yönlendirme yaklaşımı [101]'de genişletilmiştir. Bu yaklaşımda fedakarlık kavramı üzerinde durulmuştur. Bir fedakar düğüm komşularının namına daha fazla görev yerine getirmektedir. Örneğin güç kaynağında sorun olduğunda asimetrik düğümler ağ içerisinde fedakarlık isteği yayını yaparak bu düğümün sorunun üstlenecek düğümler bulabilir. Bunlardan rastgele birini seçerek yönlendirme protokolünün verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

4.5. Servis Kalitesi ve Doğru Veri İletimi Kavramları

KAA'larda servis kalitesi kavramına derinlemesine girmeden önce yapılması gereken servis kalitesinin anlamının ne olduğunu açıklamaktır. Araştırmacılar bu kavram çeşitli tanımlamalar yapmıştır [15]. Tanım olarak KAA kullanan kullanıcı ve uygulama arasındaki ağ iletişiminin sunmuş olduğu hizmetin kalitesidir. Servis kalitesi için bir kaynak ile hedef arasında iletişim kurulurken sistemde oluşan ve ölçülebilir değerler olan bant genişliği kaybı, paket kaybı gecikme gibi kavramları servis gereksinimleri kümesi olarak gösterilmiştir [102]. Genel olarak servis kalitesi kavramı doğru veri iletimi kavramını kapsamaktadır. Ancak uygulama açısından servis kalitesini standart değerlerle tanımlamak oldukça zordur. Birçok durumda uygulama kalitesi hizmeti kullanan kullanıcının memnuniyet derecesi ile eşanlamlıdır [103]. Kullanıcının memnuniyet derecesi ise uygulamanın istenen görevleri başarılı bir şekilde yerine getirmesi ve veriyi

doğru bir şekilde iletmesi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle çoklu ortam uygulamalarında ses kalitesi, görüntü kalitesi veya görüntü çözünürlüğü gibi kavramlar servis kalitesi olarak değerlendirilir [15].

KAA'larda servis kalitesi için genellikle uygulama tabanlı ve ağ tabanlı olmak üzere iki sistem kullanılır [15]. Bu modelin çalışma prensibi basit olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Temel servis kalitesi modeli [15]

Modele göre uygulama-kullanıcı katmanı gerekli servis kalitesini sağlamak için ağ katmanının nasıl yönetildiği ile ilgilenmez. Sadece uygulamanın servis kalitesini direk etkileyen ağ gereksinimleri ile ilgilenir. Burada amaç maksimum ağ kaynakları kullanılırken gerekli servis kalitesini elde etmektir. Bunu sağlamak için ağ gerekli uygulama gereksinimlerini belirleyerek çeşitli ağ servis kalitesi mekanizmaları ile sisteme geri bilgi verir.

Servis kalitesi ile ilgili çalışmalar KAA'lardan önce geleneksel veri iletimi ağlarında yoğun olarak çalışılmıştır [18], [104-106]. Geleneksel iletişim ortamı üzerine yapılan çalışmalara göre KAA'lar üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu nedenle bu bölümde geleneksel ağlar üzerine yapılan çalışmalar verildikten sonra KAA'lar için gerekli servis kalitesi gereksinimleri ile ilgili çalışmalar gösterilmiştir. Sonrasında ise KAA'larda mevcut servis kalitesi ile ilgili sorunlar verilerek bu sorunları gidermek adına yapılmış çalışmalar anlatılacaktır.

4.6. Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları

4.6.1. Kablolu Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları

Literatürde kablolu ağlar için yapılan servis kalitesi çalışmalarında iki yaklaşım vardır [107]. Bunlar;

- Mevcut kaynakları kullanım
- Trafik kontrolü

A. Kaynak Kullanımı

Bant genişliği gerektiren uygulamalarda istenilen hizmeti sağlamak için kullanılır ve tüm kullanıcılara aynı hizmet sağlanır. Bu yöntem kolaydır fakat beklenmeyen yüksek trafiklerde istenen sonuçlar elde edilmeyebilir. Trafik kontrolünde ise kullanıcı gereksinimleri sınıflara ayrılır ve her sınıf için bir önceliklendirme yapılır. Böylece ağ içerisinde gereksinimleri karşılayacak önceliklere göre sistem işleyişi gerçekleştirilir.

B. Trafik Kontrolü

Yapılan çalışmalarda trafik kontrolü için iki yaklaşım kullanılmıştır [108]. Bunlar, rezervasyon tabanlı ve isteğe bağlı metotlardır [109].

Bir kullanıcının ihtiyacı olan hizmet kalitesi için önceden ağ üzerinde kaynak ayrılabilir. Kullanıcı istediği zaman bu kaynakları kullanarak ağ üzerinden bilgi transfer eder. Bu yöntem rezervasyon tabanlı olarak adlandırılabilir. Alternatif olarak kullanıcı gerek duyduğu anda ağdaki kaynakları rezerve etmek isteyebilir. Fakat ağdaki mevcut yük dolayısı ile istediği kalitede hizmet alamayabilir. Rezervasyon tabanlı bu yaklaşımla ilgili en çok kullanılan yöntem ATM (Asenkron Transfer Mod) 'dir [91]. Yönteme göre ATM sistemi ağ içerisinde bir sanal paket anahtarlama mekanizması kurmaktadır. Sanal devre kurulum aşamasında her algılayıcı noktası için kaynak tahsis işlemi yaparak alıcı ile gönderici arasındaki yolu sabitlemektedir. Algılayıcılar arasındaki yol sanal devre tarafından gerçekleştirileceğinden servis garanti elde edilmektedir. Fakat ATM sistemi kullanım açısından çok verimli olmamıştır. Bunun nedeni ise ağ da herhangi bir trafik olmadığında da kaynaklar ayrıldığından etkin kullanım sağlanamamıştır.

İsteğe bağlı metotlar rezervasyonsuz ağlarda kullanılır. Bu durumda kullanıcılar kendilerini değişen ağ durumuna uyarlamak durumundadırlar. İsteğe bağlı planda ise ağı kullanan kişiler sürekli olarak ağı gözlemlemeli ve tıkanıklığı önlemek için ağın durumunu değiştirmelidirler. Her iki yöntemin de avantajları ve dezavantajları vardır. Birinci yöntemde hizmet kalitesi garanti edilir fakat kullanıcı sayısı sınırlandırılmak zorundadır.

İkinci yöntemde kullanıcı sayısı sınırlı değildir fakat her kullanıcı aldığı hizmetten ödün vermek durumunda kalabilir. Rezervasyon tabanlı ve isteğe bağlı yöntemlerde tam bir dışta bırakma söz konusu değildir. İki yöntemin bir arada uygulandığı karma sistemler de tasarlanabilir.

Çoklu sistemlerde ise bazı kullanıcılar için kesin bir hizmet kalitesi sağlanması gerekiyor ise o kullanıcılara kaynaklar rezerve edilebilir. Diğer kullanıcılar ise kalan kaynakları paylaşabilirler. Bundan başka, her kullanıcı için kaynakların küçük bir kısmı rezerve edilir. Kalan kaynaklar bir havuzda toplanır ve kullanıcılar bu kaynaklara erişmek için birbirleri ile yarışabilirler [109].

4.6.2. Kablosuz Ağlarda Servis Kalitesi Çalışmaları

Kablosuz yerel alan ağları üzerine yapılan çalışmalarda da özellikle MAC tabanlı yaklaşımlar üzerinde durulmuştur [59]. Bu yöntemler için servis kalitesi sorunu kullanıcıların hareketli olmasından ve sınırlı bant genişliği kullanımından kaynaklanmaktadır. Sorunun çözümü için farklı erişim öncelikleri tanımlanarak kablosuz ortam üzerinden paylaşılan veri sınıflar halinde iletilir [110].

Eşler arası kablosuz ağlar (Ad-Hoc) üzerine yapılan çalışmalarda servis kalitesi sorununu çözmek için özel yönlendirme teknikleri, servis kalitesi kaynak rezervasyonu ve MAC protokolü yöntemleri kullanılmıştır [94]

Algılayıcı ağlar kablosuz ağlar ailesinin bir üyesi olmasına rağmen genel kablolu ve kablosuz ağlar için yukarıda verilen servis kalitesi yöntemlerinin direk kullanılmasına izin vermemektedir. Az sayıda algılayıcı ağ uygulamasında kendi servis kalitesi gereksinimlerine göre bu yöntemler uygulanabilmektedir. Ağ yapısının belirsiz ve dağınık olması, olay anında aktif bir algılayıcının durumu saptayamaması, ağ yönetimi gibi nedenlerle algılayıcı ağlarda servis kalitesi parametreleri klasik ağlardakinden birçok yönüyle farklılık göstermektedir [7], [111], [112] algılayıcı ağlarda servisi kalitesini ölçmek için gerekli parametre olarak kapsama ve aktif algılayıcı sayısını tanımlamıştır. Fakat algılayıcıların sınırlı işlevselliği, yetersiz gözlem süresi ve algılayıcı sayısı azlığı istenen kaliteyi elde etmede yeterli olmamıştır. Bu nedenle KAA'larda servis kalitesi için ölçüm hatalarının, sistem ömrünün, doğruluk ölçümlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu parametreleri de göz önünde bulundurulması gerektiği [19] tarafından gösterilmiştir.

KAA'larda servis kalitesi kavramı denilince kapsama, ölçüm hataları, sistem yaşam ömrü ve aktif algılayıcı sayısı uygulama katmanında hizmet kalitesini belirleyici temel

kriterler olarak gösterilmiştir [113]. Ayrıca farklı KAA uygulamaları uygulamanın servis kalitesiyle ilgilenmeyebilir. Bu uygulamalar genellikle ağın genel servis kalitesiyle ilgilenirler. Ağ servis kalitesi çalışmalarında ise dikkat edilen parametreler gecikme, kararsızlık, bant genişliği ve verimdir [19]. Gerçekleştirilecek uygulamanın yapısına göre gerekli görülen servis kalitesi kriterleri belirlenerek ağ ayarlarının yapılmasına dayanmaktadır.

Literatürde görülmüştür ki KAA'larda servis kalitesi gereksinimi için iki bakış açısı hakimdir. Bunlar [19];

- Uygulama tabanlı
- Ağ tabanlı

dır. Çalışmamızda ilgilenilen alan ağ tabanlıdır ve bundan sonraki süreçte literatürde ağ tabanlı çalışmaların ne olduğu ve kullandıkları yönlendirme protokolleri anlatılacaktır.

4.7. KAA Uygulamalarında Servis Kalitesi Gerekliliği

KAA uygulamalarında ilk servis kalitesi gereksinimi çevre gözlemleme uygulamalarında ortaya çıkmış ve gerekli olan servis kalitesinin belirli seviyelerde olması öngörülmüştür [17]. Yapılan çalışmada algılayıcılar Amerika' da bulunan Great Duck Island(büyük ördek adası) içerisine bulunan hava değişimlerini ve deniz kuşlarının çeşitliğini gözlemlemek için kullanılmıştır. Gözlemleme yapılırken, kullanılan geleneksel yöntemlere göre KAA'ların avantajlarını kullanarak yaban hayatını ve habitatı hassas bir şekilde insan etkisi olmaksızın ortama zarar vermemek amaçlanmıştır. Ortama atılan algılayıcılar nem, sıcaklık, basınç ve ortam seslerini bir arada alarak izleme yazılımına iletmiştir. Çalışmanın ana hedefi gözlemlenen ortam hakkında kesin bilgiler elde etmektir [17]. Bu nedenle uygulama doğruluk, uzamsal çözünürlük ve hassas kararlar için minimum değerler tanımlamaktadır. İzleme süresini arttırmak için etkin pil kullanımını tanımlar. Bu nedenle KAA uygulama servis kalitesi gereksinimleri ile ayarlanmıştır. Bu gereksinimleri ağın çözünürlük ve yaşam ömrüdür.

Diğer bir servis kalitesi ihtiyacı duyan KAA uygulaması ise gerçek zamanlı hedef takibi uygulamasıdır [20]. Çalışmalarında savaş ortamında gerçek zamanlı hedef takibi için görüntüleme algılayıcıları ve akustik algılayıcıları kullanmayı önermiştir. Önce hedef tespit edilmekte ve durum algılayıcıları ile konum belirlenmektedir. Görüntü sensörleri acil bir şekilde görüntüyü yakalamak ve videosunu almak için çalışır. Sonrasında elde edilen bu çoklu bilgi periyodik olarak kontrol istasyonuna iletilir. Böyle bir askeri ortamda algılayıcı

düğümlemler ile kontrol noktası arasında gerçek zamanlı veri alışverişi olmasından dolayı zamanında uygun önlemlerin alınması gerekmektedir. Kısıtlı bir zaman içerisinde teslim edilmesi gereken veri için servis kalitesi kavramı, mümkün olan en düşük gecikme ve belirli bant genişliğini garanti etmelidir.

Bu çalışmaya benzer bir çalışma Pattern vd. [114] tarafından yapılmıştır. Çalışmada savaş alanında hedef tespiti için dağıtık algılayıcılar kullanılmış ve hareketli hedef takibi için tanımlamalarda bulunulmuştur. Bu KAA uygulamasında görüntüleme sensörleri kullanılmamıştır. Bunun yerine hedefi algılayabilmek için algılayıcılar birçok sensörle donatılmıştır. Amaç hedefi yeterli sayıda algılayıcı düğümü ile yeterli hassasiyetle gerçek zamanlı pozisyonunu belirlemektir. Hedefi en az sayıda algılayıcı düğümü ile tespit ederek, diğer algılayıcıların pasif durumda beklemesi sağlanmıştır. Böylece algılayıcıların pil kapasiteleri üzerinde optimizasyon sağlanmış olmaktadır. Aktif algılayıcı sayısı ortamdaki şartlara bağlı olarak artıp azalabilmektedir. Yani hedef algılanıncaya kadar çok az sayıda algılayıcı aktiftir buda düşük uzamsal çözünürlük sağlamakta, hedef algılandığında ise ortamdaki aktif algılayıcı sayısı arttırılmakta böylece yüksek çözünürlük elde edilmektedir. Bu çalışma için servis kalitesi gereksinimleri ise ağ seviyesinden daha çok uygulama seviyesine bağlıdır.

Çalışmalardan görülmekteki KAA'larda servis kalitesi gereksinimlerinin çeşitleri önceden belirlenen kabullerle ilişkilidir.

4.8. KAA'larda Servis Kalitesi Sınırlamaları

KAA'lar benzersiz karakteristikleri ve gereklilikleri ile geleneksel kablosuz ağlara göre servis kalitesi desteği için farklı zorlukları beraberinde getirmiştir. Bu farkın nedeni ise KAA'ların dinamik ağ ortamında olması ve bağlantı kalitesi isteğidir. Literatürde KAA servis kalitesi ile ilgili yapılan çalışmalar bu zorlukları ortaya koymuştur [14], [19], [20].

Bu zorluklar kaynak sınırlamaları, bant genişliği sınırlamaları, enerji ve gecikme eşiği, veri yoğunluğu, çoklu trafik tipleri, ölçeklenebilirlik, dengesiz trafik, farklı TD'ler, dinamik ağ yapısı, enerji dengesi ve paket veri bütünlüğü kavramlarıdır. Yapılan çalışmalara göre belirlenen zorlukların servis kalitesi açısından yapısı şöyledir;

- **Kaynak Sınırlamaları:** KAA'larda enerji, hafıza, işlem kapasitesi, iletim gücü, geçici bellek boyutu gibi kavramlar üzerinde büyük kısıtlamalara sahiptir. Bu kısıtlamalar algılayıcıların ortama atıldıktan sonra şarj edilememesi veya bataryasının değiştirilememesinden dolayı algılayıcıları kullanılamaz hale

getirmektedir. Burada servis kalitesi açısından önemli olan nokta, gerçekleştirilecek algoritmaların yoğun hesaplama yapmaması, fazla yük getiren sinyalleşme protokolleri kullanmamasıdır. Bu şekilde tasarlanacak algoritma ve protokoller güç tüketimini arttırmakta ve algılayıcının durum bilgilerinin üzerinde baskı uygulamaktadır.

- **Bant Genişliği Sınırlamaları:** KAA uygulamaları çok küçük bant genişlikleri üzerinden çalışmaktadır. Bu kısıtlı bant genişliği kullanımı sistem üzerinde servis kalitesi üzerinde önemli bir kısıtlamaya neden olmaktadır. Veri miktarındaki büyüklük ve gerçek zamanlı uygulamalardaki verinin istasyona hızlı ulaşma ve hızlı tespit gereklilikleri bu özelliği önemli kılmaktadır.
- **Enerji ve Gecikme Eşiği:** KAA'larda kullanılan algılayıcıların sinyal anten güçleri sınırlıdır. Bu nedenle sinyalin bir noktadan diğer bir noktaya iletilmesinde çok fazla sayıda atlama noktasından geçerek sinyali iletmesi sağlanmaktadır. Bu durumda da hedefe ulaşabilmek için diğer algılayıcıların enerjilerini de kullanmış olunmaktadır. Ayrıca işaretin hedefe gecikmeli ulaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle analizleri zorlaştırmakta ve servis kalitesinden yoksun trafik taşımaya neden olmaktadır. Fakat verinin zamanında hedefe ulaşması önemli olduğundan bazı durumlarda servis kalitesinden ödün verilebilmektedir.
- **Çoklu Veri Trafik:** KAA'lar içerisinde algılama yapılacak uygulamaya göre farklı tiplerde veriler üzerinde çalışılması gerekebilmektedir. Aynı ağ içerisinde algılayıcılar birden fazla tipte durumu tespit ettikleri zaman servis kalitesinden yoksun trafik oluşabilir. Örneğin ağ içerisinde aynı anda sıcaklık, basınç, nem, hareket, gibi durumların gözlenmesi gibi. Bu durumda her algılama için farklı veri yönlendirme yöntemleri kullanılması gerekebilir. Buda ağ içerisindeki servis kalitesi desteğini standart bir değerde tutmayı zorlaştırmaktadır.
- **Veri Fazlalığı:** KAA'larda ağ içerisinde üretilen verinin fazla olması karakteristik bir özelliktir. Ortamdaki veriyi toplamak ve verilerin girişimlerini önlemek kısıtlı servis kalitesine sahip çoklu trafik ortamlarında önemli bir durumdur. Alınan verileri karşılaştırmak, içerisinde elde edilmek istenenler süzmek yoğun hesaplama ve enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır. Bu da KAA tasarımı için servis kalitesi desteğini zorlaştırmaktadır. Ağ ve algılayıcı kural seviyelerini bir arada kullanarak, servis kalitesi için mümkün trafik hesaplamalarını gruplandırmak sorunu çözmek için kullanılabilir.

- **Dengesiz Trafik:** KAA'ların çoğunluğunda trafik büyük algılayıcı gruplarından az sayıda olan toplayıcı ve yönlendirici düğüm gruplarına doğru akar. Bu durumda dengesiz trafik oluşmasına neden olur. Algılayıcı grubu içerisinde dengeli bir trafik varken, toplama noktalarına verinin iletilmesi sırasında veri yoğunluğu artmaktadır. Bu nedenle tasarım yapılırken servis kalitesi açısında oluşan bu dengesiz trafiği göz önünde bulundurmak gereklidir.
- **Ölçeklenebilirlik:** Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi bir KAA içerisinde yüzler ve binlerle ifade edilen sayılarda algılayıcı olabilmektedir. Bu nedenle servis kalitesi gereksinimlerini düğüm sayısına göre ayarlanmalıdır. Belirlenecek servis kalitesi ağ içerisinde algılayıcı sayısının artması durumunda kendisini buna adapte edememektedir. Bunun nedeni ise kriterlerin baştan belli olmasıdır.
- **Farklı Toplayıcı Düğümler:** Bir KAA içerisinde farklı gereksinimleri karşılamak için kullanılan birden fazla TD bulunabilir. Ağ içerisinde farklı parametreleri ölçen algılayıcı kümelerinin her biri için ayrı TD'ler bulunabilir. Bir TD sıcaklık değerleriyle ilgilenirken diğer bir TD basınç yada nemle ilgili verilerle ilgilenebilmektedir. Ayrıca bu düğümlerin veri alma sıklıkları farklılık gösterebilmektedir. Örneğin sıcaklık için kullanılan TD düğümü sürekli belirli aralıklarla veri alırken, diğer düğüm sadece çok yüksek sıcaklıklarda veri gönderebilir. Farklı TD'ler için farklı servis kalitesi seviyelerine ihtiyaç duyulabilmektedir.
- **Dinamik Ağ Yapısı:** KAA dinamik bir ağ yapısına sahiptir. Ağ ortamında bulunan algılayıcılar çeşitli nedenlerden dolayı hata durumuna geçebilir. Bu durumlar, kablosuz veri iletim hattından, düğümlerin hareketliliğinden, düğüm durum geçişlerinden kaynaklanabilir. Ağ dinamik yapısı güç yönetimine ve etkili bir enerji şemasına bağlıdır. Bu kadar fazla dinamik yapıda olan bir ağ içerisinde servis kalitesi işlemleri oldukça karmaşık hale gelebilmektedir.
- **Enerji Dengesi:** KAA ömrünün uzun olabilmesi için, enerji yükünün dengeli bir şekilde dağıtılması gereklidir. Ağ içerisinde bir düğüm veya düğüm grubu enerjisini çok kısa bir sürede tüketmemelidir. Servis kalitesi tasarlanırken bu durumun dikkate alınması gereklidir.
- **Paket Önemi:** KAA içerisindeki veri paketinin içeriği ve üst düzeyde açıklama içeriği uygulamaya bağlı olarak farklı önemler arz edebilmektedir. Bu nedenle ortamdaki paketler için farklı servis kalitesi ihtiyaçları olabilmektedir.

Bu doktora çalışmasında verilen bu sınırlamalardan kaynak sınırlamaları, bant genişliği gecikme, paket önemi, güvenlik ve ölçeklenebilirlik sorunlarını çözmeye yönelik bir model sunulmuştur.

5. KAA BENZETİM VE DENEY ORTAMLARI

5.1. Giriş

Bu tez çalışmasında önerilen algoritmanın uygulanması için iki ortam kullanılmıştır. Bunlar benzetim programı ve deneysel settir. KAA'larda uygulama geliştirmek için öncelikle yapılan çalışmaların bir benzetim programı üzerinde uygulanarak sonuçların elde edilmesi gerekmektedir. Benzetim programından sonuçlar elde edildikten sonra deney setine geçilerek sistemin çalışması ve benzetim ortamında elde edilen sonuçların geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekir. Bu nedenle bu bölümde literatürde KAA için kullanılabilecek benzetim programları belirtilerek, çalışmamızda kullandığımız Castalia benzetim programının temel kullanım sistemi seçimi nedenleri açıklanacaktır. Sonrasında Trakya Üniversitesi, Bilgisayar mühendisliği Bölümü Kablosuz Algılayıcı Laboratuvarı'nda bulunan deney düzenekleri tanıtılacaktır. Önerdiğimiz modelle ilgili tasarıma ait sonuçların doğruluğu iki aşamada sınanacaktır. Birinci aşamada Kablosuz Algılayıcı Laboratuvarı'nda bulunan algılayıcı sistemi kadar düğüm üzerinden sonuçlar elde edilecektir. İkinci aşamada ise aynı düğüm sayısına ait benzetim programı sonuçları elde edildikten sonra her iki sonuç kıyaslanacaktır. Okuyucuların sonraki bölümde açıklanacak konuları daha iyi anlayabilmeleri için bu bölüm hazırlanmıştır. Bu bölümde açıklanan konular Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. KAA benzetim ortamlarında ele alınan konular

5.2. KAA Benzetim Programları

KAA'lar yapısal olarak pratikte yüksek sayıda algılayıcıdan oluştuğundan karmaşık yapılara sahiptir. Donanım maliyetlerinin yüksek olması, donanım teminindeki güçlükler ve gerçek ortamın oluşturulması oldukça zor olduğundan araştırmacıların bu alanda

çalışma yapmasını kısıtlamaktadır [115-118]. Bu nedenle çeşitli ağ benzetim programlarına ihtiyaç duyulmuştur. İhtiyaçlar doğrultusunda çeşitli benzetim programları önerilmiştir. Böylece gerçek ortamlarda çalışma sıkıntısı yaşayan araştırmacılar çalışmalarını deneyebilmekte ve bilimsel sonuçlar elde edebilmektedir. Benzetim programları çevresel ortam koşullarını modelleyen fonksiyonlar ile gerçekleştirilen uygulama, protokol, mimari ve algoritmaların sonuçlarının izlenebilmesini sağlamaktadır. Düğümlere karşılık gelen tanımlamalar esnek bir yapıda kullanıcıya bırakılabilmektedir. Ayrıca gerçek algılayıcı ağ bileşeni üreticilerinin maliyet, bakım süreleri ve başarımını arttırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı KAA üzerine çalışan araştırmacıların öncelikle geliştirdikleri algoritma, protokol ve tasarımları benzetim programları tarafından çalıştırmaları gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma üzerinde gerekli güncellemeleri yaparak son hali verilir. Sonrasında gerçek uygulama ortamına geçilerek aynı sonuçların elde edilip edilmediğine bakılır. Yapılan literatür çalışmasında araştırmacıların en çok kullandığı ve kabul gören benzetim programları çıkarılmıştır [119]. Bunlar;

- GlomoSim
- Ns-2, Ns-3
- TOSSIM
- UWSim
- Avrora
- SENS
- COOJA
- Shawn
- EmStar
- J-Sim
- SENSE
- VisualSense
- (J) Prowler
- Castalia şeklindedir.

Belirtilen benzetim programlarının avantaj ve dezavantajları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1’e göre her benzetim programının kendine göre avantaj ve kısıtları bulunmaktadır. KAA üzerine algoritma geliştirecek araştırmacıların programlama diline, avantaj ve kısıtlarına, benzetim programının karmaşıklık düzeyine, paralel işlem yürütebilmesine, gerçek düğümleri modelleyebilmesine ve diğer tasarım seçeneklerine göre bir benzetim programı seçmesi gereklidir.

Tablo 5.1. Benzetim programlarının karşılaştırılması [119]

Benzetim Programı	Dil	Avantajları	Kısıtları
Ns-2, Ns-3	C++	Kolay yeni protokol ekleme Çok sayıda yayınlanmış protokol Görselleştirme araçlarına sahip	Sadece 2 kablosuz MAC protokolü, 802.11 ve TDMA kullanır.
TOSSIM	NesC	Uygulama kaynak kodu değişmeden, yüksek doğruluk derecesi elde etme	Derleme adımları zamanlama ve kod kesme özellikleri kayıpları
GlomoSim	Parsec	Paralel benzetim yeteneği KAA’lar için özel olarak tasarlanması Görselleştirme araçlarına sahip	Etkili düşük seviyede tasarım varsayımları nedeniyle IP ağları ile sınırlı Yeni protokol tasarımına izin vermez
UWSim	C++	Su altı kablosuz algılayıcı ağları için tasarlanmıştır.	Sınırlı sayıda işlev desteği Sadece su altı kablosuz algılayıcı ağlar için kullanılabilirliği
Avrora	Java	10.000’e kadar düğümü destekler Büyük ölçekli ağlarda zamana bağlı doğru sonuçlar verir.	Model zaman sürüklenmeleri başarısızdır. TOSSIM’den %50 daha yavaş Hareketsiz model
SENS	C++	Platform bağımsız Kullanıcılar uygulamaları biraraya getirebilir. Değiştirilebilir ortamlar tanımlanabilir.	MAC protokolün doğru modelleyemez Sadece fiziksel olaylar için ses’e destek verir.
COOJA	Java	Hem donanım hemde yazılımsal benzetim Büyük ölçekli davranış protokolleri ve algoritmalar tanımlanabilir	Son derece verimli değil Sınırlı düğüm tipini destekler Geniş ve zamana bağlı benzetim zor
Shawn	Java	Dağıtık protokollerin uygulanmasıyla sınırlı değil Büyük ağların benzetimin yapılabilir	Radyo yayılım özelliklerini veya düşük katman sorunları gibi konularda detaylı benzetim yapılmasına izin vermez
EmStar	Linux	Farklı yürütme platformlarında çalışabilir Simülatör ve emülatör desteği sunar EmStar bileşen tabanlı model kullanım başarılı bir ölçeklenebilirlik sağlar	Sadece düğüm türleri için kod çalışır Paralel benzetim desteklemez Diğer programlar kadar hızlı ve verimli değildir.

Tablo 5.2. Benzetim programlarının karşılaştırılması (Devamı)

J-Sim	Java	Radyo enerji tüketim dışında enerji modeli sunar Mobil kablosuz ve algılayıcı ağları destekler Bileşen odaklı mimari sunar	Düşük verimli benzetim Tek MAC protokolü 802.11 i kullanır. Gereksiz çalışma süresi yükü
SENSE	C++	Dengeli modelleme, metodoloji ve benzetim ortamı Verimli bellek kullanımı, hız, genişleme ve yenide kullanılabilme	Yeterli KAA uygulaması yok Kapsamlı model kümesi sunamamak Görselleştirme aracı olmaması
VisualSense	Ptolemy II	Doğru ve genişleyebilir bir radyo modeli Lokalizasyon için kullanılabilen bir ses modeli	Kablosuz ortam üzerinde ses dışında herhangi bir fiziksel olayı sağlayamaz.
(J) Prowler	Matlab/ Java	Olasılıksal KAA benzetimi Doğru bir radyo modeli sunar	Sadece TinyOS daki varsayılan tek MAC protokolü kullanır
Castalia	C++	Fiziksel Süreç Modelleme Cihaz gürültülerini algılama Düğüm saat sürüklenmeleri Birden fazla MAC protokolü Katmanlı yapı Farklı yönlendirme protokolü desteği	Algılayıcı özel değildir. Yapılmış kodları test etmede verimsiz

Çalışmamız da katmanlı yapı kullanması, iyi modelleme seçenekleri sunması cihaz gürültülerini algılama özelliği olması, birden fazla MAC protokolü kullanımına izin vermesi, farklı yönlendirme protokollerini desteklemesi, makine dilinden çok kullanıcı tarafına yakın programlama yapılabilmesi, algılayıcı ve ağla ilgili parametrelerin birçoğunu dinamik olarak tanımlanabilmesi ve bütün protokol yazımını yada algoritma tasarımı yapılarak protokoller içinde kullanımını desteklemesi gibi özellikleri göz önünde bulundurularak algoritma tasarımı için Castalia benzetim programı seçilmiştir. Bundan sonraki aşamada OMNET++ altyapısını kullanan Castalia benzetim arayüzü tanıtılacaktır. Ayrıca Castalia benzetim programının seçilme nedenleri ve nasıl kullanılması gerektiği açıklanacaktır.

5.3. Castalia Benzetim Programı

5.3.1. Giriş

Castalia kablosuz algılayıcı ağlar için kullanılan ve OMNET++ altyapısını kullanan bir benzetim programıdır [120]. Araştırmacı ve geliştiricilerin kablosuz algılayıcı ağlar üzerine kablosuz kanalda ve radyo modelinde protokol veya algoritma geliştirmesini, sonuçların

test edilmesini ve gerçeğe yakın düğüm davranışları sağlamaktadır. Ayrıca Platformun getirdiği avantaj OMNET'in bütün altyapısını ve makine diline yakın kısmını öğrenmeye gerek kalmadan basit bir yapıda uygulama ve algoritma geliştirmeye olanak tanımaktadır. Büyük bir platform aralığının benzetimini yapabilmesi ve tüm parametrelerin ayarlanabilir olmasından birçok farklı hesaplamalar yapabilmektedir. Castalia'nın temel özellikleri şöyledir.

- Deneysel ölçümlere dayalı gelişmiş kanal modeli sunmak
 - Model düğümler arasında basit olmayan bağlantılar ve yol kayıplarıyla ilgili bir harita tanımlar
 - Yol kaybının zaman değişimi için karmaşık model sunar
 - Düğüm hareketliliğini destekler
 - Girişim ayrı bir özellik olarak değil, alınan sinyal gücü olarak ele alınır
- Düşük güçte iletişim için gerçek radyolara dayalı gelişmiş radyo modeli sunmak
 - Modülasyon tipine, paket boyutuna SINR tabanlı alım olasılığı
 - Çoklu güç seviyelerine izin verilen bireysel düğüm davranışları
 - Farklı güç tüketimi ve gecikme durumları aralarında geçiş
 - Gerçekçi modelleme
- Genişletilmiş algılama modelleme şartları sağlamak
 - Son derece esnek bir fiziksel süreç modeli
 - Cihaz gürültülerini, güç tüketimlerini, sapmaları algılama
- Düğüm zaman kaymalarına tanımlayabilir
- MAC ve yönlendirme protokolleri kullanabilir
- Adaptasyon ve genişleme durumlarına göre tasarım yapabilmek

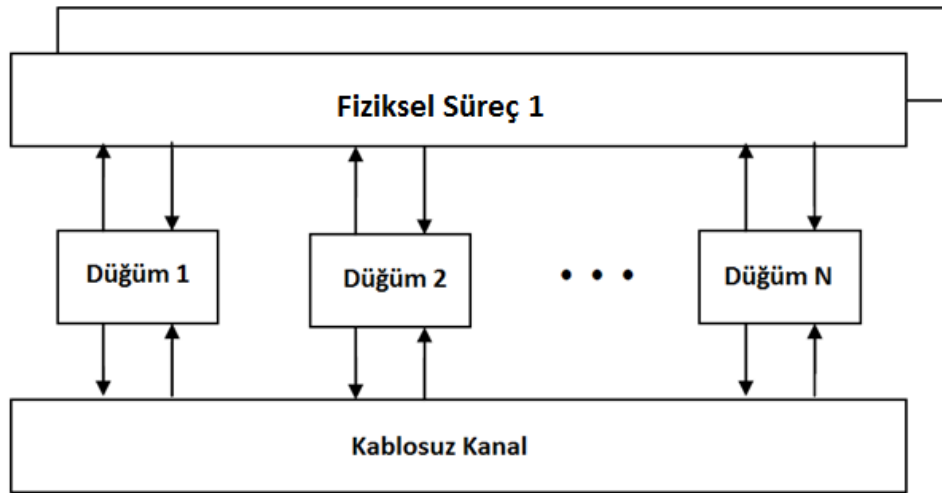
Ayrıca Castalia programı kullanıcıların kolay bir şekilde uygulama sonuçlarını elde edebilmeleri için yaptıkları uygulama veya protokolleri program içerisine aktarabilmesine (import) olanak sağlamaktadır. OMNET'in modüler, güvenilir ve hızlı özellikleri kullanılarak etkin bir platform oluşturmaktadır.

OMNET'in temel yapısı modüller ve mesaj bilgisinden oluşmaktadır. Her bir basit modül, işlemleri yürütmenin temel birimidir. Bu modül kendi veya diğer modüllerden gelen mesajları kabul eder ve mesaja göre kod parçalarını yürütür. Mesaj geldiğinde kodlar tutulabilmekte ve değişmiş yeni mesajlar gönderilebilmektedir. Ayrıca birleşik modüllerde kullanılabilmektedir. Bu modüller ise basit modüllerin bir araya gelmesinden yada diğer

birleşik modüllerden oluşabilmektedir. Bu bölüm, [121]'de verilen kullanım kılavuzu kullanılarak hazırlanmıştır.

5.3.2. Modüler Yapısı

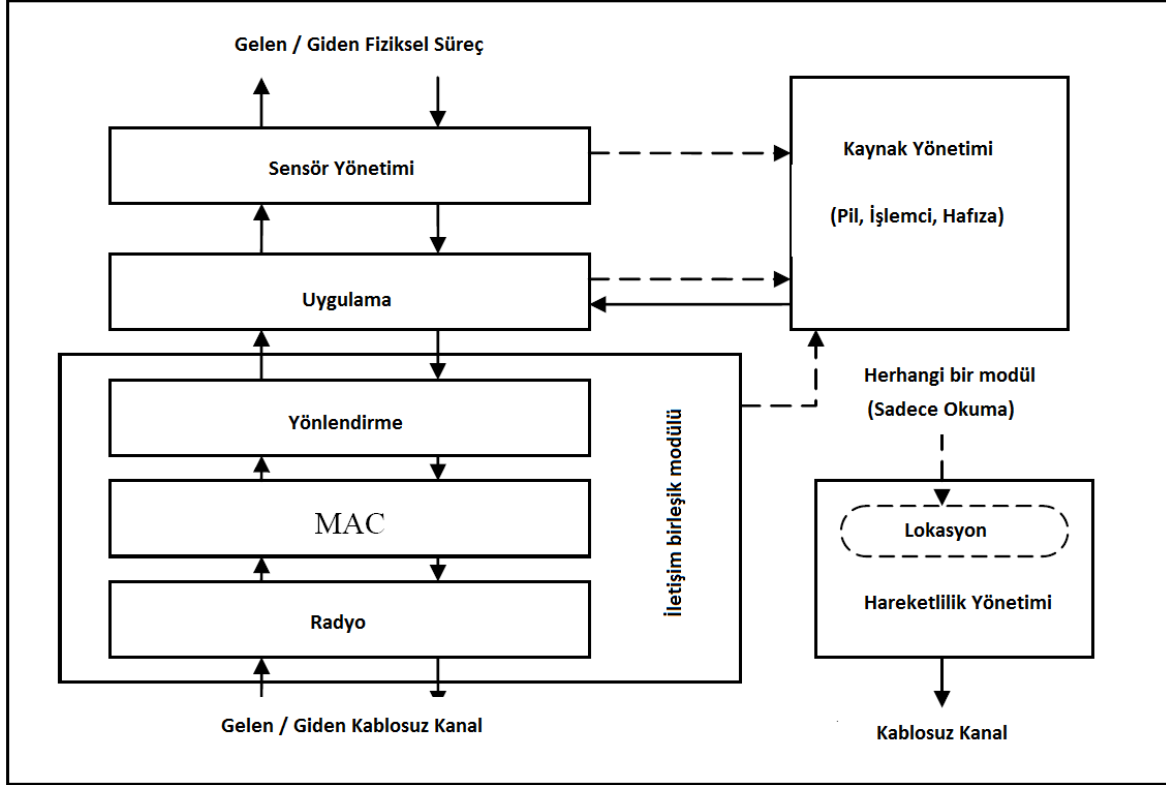
Castalia'nın temel modül yapısı Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Yapıda hiçbir düğüm diğer düğüme direk bağlı değildir. Tüm düğümler iletişimlerini kablosuz kanal üzerinden yapmaktadır. Şekil 5.2'de oklar bir modülden diğer modüle geçen mesaj bilgisini ifade etmektedir. Bir düğüm sahip olduğu bir paketi gönderdiğinde bu bilgi hangi düğümlerin verinin alacağına karar veren kablosuz kanala gitmektedir. Her fiziksel süreç için “gerçek” fiziksel bir süreci temsil eden ve niceliklerini tutan bir modül vardır. Düğümlerin örnek alması ve algılayıcı okumaları için geçen süre (ilgili modüle bir mesaj göndererek) fiziksel bir süreçtir. Bir düğüm çoklu algılama cihazlarına sahip ve bunları temsil eden birden çok fiziksel sürece sahip olabilir.



Şekil 5.2. Castalia modülleri ve bağlantılı yapısı

Düğüm modülü birleşik bir yapıya sahiptir. Bu yapı Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Şekilde kalın oklar ileriye aktarım anlamına, kesikli oklar ise bir işlevi çağırarak anlamına gelmektedir. Örneğin modüller en çok enerji tüketim seviyelerini belirlemek için kaynak yönetimi fonksiyonu çağırır. Uygulama modülü yeni bir algoritma kullanarak bir modül oluşturmak için genellikle kullanıcılar tarafından en çok kullanılan modüldür. İletişim, MAC ve yönlendirme modülleri ile hareketlilik yönetim modülü genellikle yeni bir protokol veya model oluşturmak için kullanıcıya büyük esneklik sağlamaktadır. Kullanıcı gerçekleştireceği işlemi bu modülleri kullanarak yapabilmektedir.

Anlatılan bu yapı içerisindeki tüm işlemler Castalia içerisinde OMNET++ altyapısı ve NED (network description language) dili ile ağ benzetim ayarları yapılır. Benzetim derlenirken NED dosyaları C++ kodlarına dönüştürülür. Bu dil kullanılarak modül tanımlamak, modül parametrelerini girmek, modül ara yüzlerini yapılandırmak ve alt modülleri oluşturmak oldukça kolay bir şekilde yapılabilir.



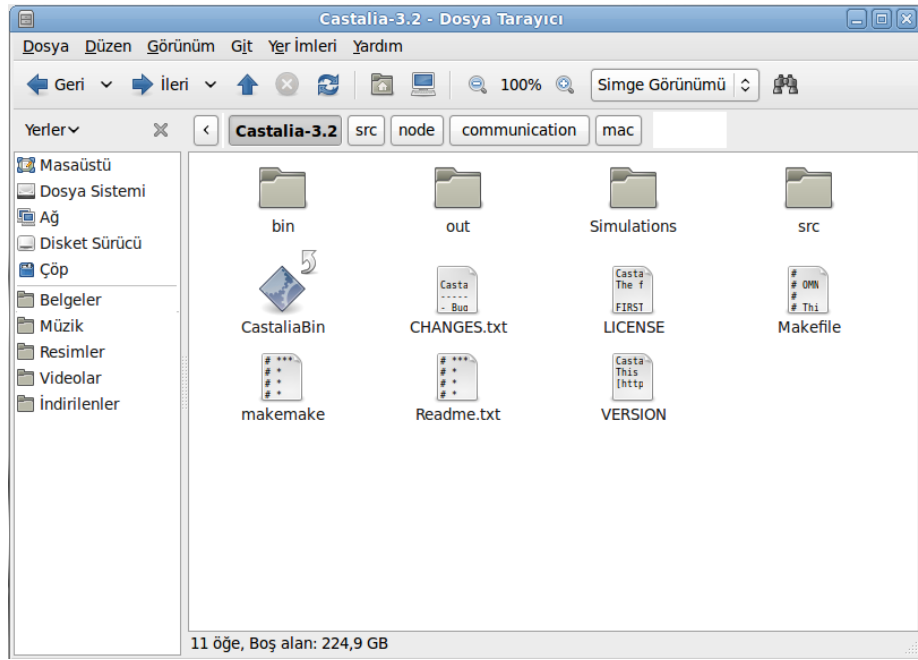
Şekil 5.3. Birleşik düğüm modülü

Castalia programında uygulama geliştirmek ve sonuç elde etmek için önemli olan nokta yapılmak istenen algoritma yada protokolün hangi katmanları ilgilendirdiğini belirlemektir. Çünkü bazı çalışmalar tüm katmanlarla ilgilenirken bazı çalışmalar ise sadece belirli katmanlarla veya bir katmanla ilgilenebilmektedir. Örneğin güvenlik üzerine bir çalışma yapılmak isteniyorsa MAC ve uygulama katmanlarıyla ilgilenilirken, yönlendirme üzerine bir algoritma geliştirilirken yönlendirme ve uygulama katmanlarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Castalia kullanıcılara bu esnekliği sağlamaktadır. Araştırmacıların ihtiyaç duydukları katmanlar üzerine yeni algoritma yada protokoller yazabilmelerini, diğer katmanlarda ise standart yöntemleri veya bilinen bir yöntemi kullanabilmelerine olanak tanımaktadır. Böylece direk amaca yönelik çalışmalar yapılabilir. Çalışmamız çoklu yönlendirme algoritması geliştirmek olduğu için ilgilendiğimiz katman yoğunluklu yönlendirme katmanı ve uygulama katmanı olmaktadır.

5.3.3. Castalia Kullanımı

Castalia programı Linux işletim sistemi üzerinde çalışmaktadır. Bu nedenle programı kurmak için Linux işletim sistemine sahip bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan tüm işlemler komut satırı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Programın kendine ait, konfigürasyon, modül oluşturma, sonuç çıktıları toplama, çalıştırma, zamanlayıcı tanımlama, uygulama modülü tanımlama komutları bulunmaktadır. Bu komutlar kullanılarak komut satırından istenilen bilgilere ulaşılabilir.

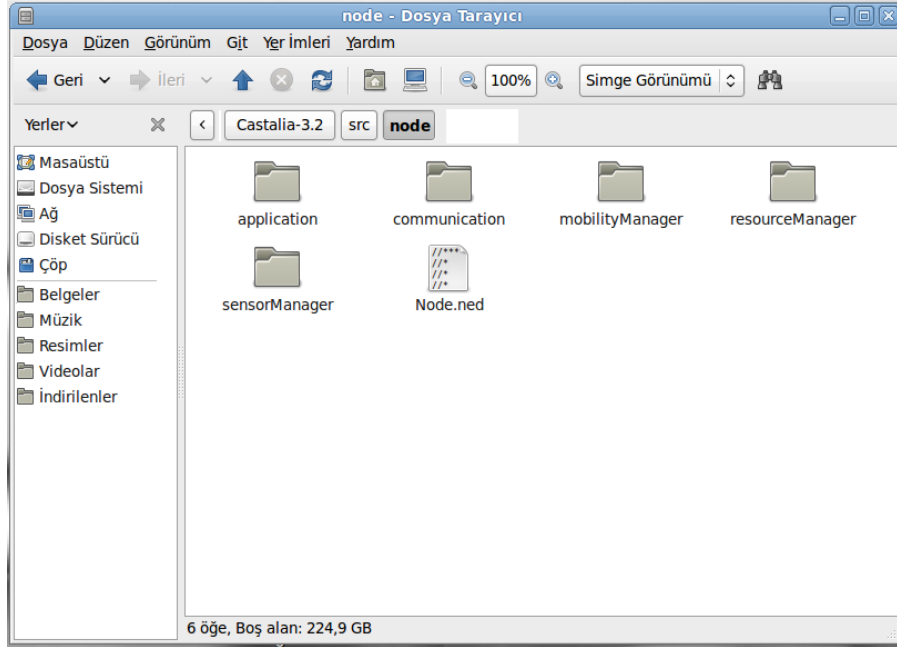
Programın çalışma sistemini anlamak için öncelikle klasörleme sistemini öğrenmek gerekmektedir. Program kurulumu gerçekleştirildikten sonra Şekil 5.4’de görülen klasörler oluşmaktadır. Temel 4 klasör mevcuttur. Bunlar bin, out, simulations ve src klasörleridir. Bu klasörler uygulama kodlarını ve çeşitli fonksiyonları içerisinde barındırır.



Şekil 5.4. Castalia program klasörleri

Tasarım açısından en önemli klasör *src* klasörüdür. Şekil 5.3’de gösterilen katmanlı yapı bu klasör içerisindeki *node* klasörü altındaki alt klasörlerde bulunmaktadır. Uygulama geliştirmek için öncelikli olarak yazılan kodların hangi klasörlerin altına olması gerektiğinin bilinmesi önemlidir. Bu nedenle gerçekleştirilecek uygulamanın ilgilendirdiği klasör altında çalışılmalıdır. Şekil 5.5’de *node* klasörünün içeriği gösterilmiştir. Buna göre eğer uygulama katmanı ile ilgili bir çalışma yapılacaksa *application*, iletim ile ilgili ise *communication*, hareketlilik yönetimi ile ilgili ise *mobility manager* ve kaynak yönetimi ile

ilgili ise *resource manager* ve algılayıcı yönetimi ile ilgili ise *sensor manager* klasörleri içerisinde gerekli işlemlerin yapılması gerekmektedir. Çalışmamız iletim katmanındaki yönlendirme kısmını ilgilendirdiği için *communication* klasörü altında çalışılmıştır.



Şekil 5.5. Node klasörü içeriği

Communication klasörü içerisinde ise 3 ayrı uygulama geliştirme birimi bulunmaktadır. Bunlar radyo, yönlendirme ve mac işlemleridir. Uygulama hangisini ilgilendiriyorsa o bölüm içerisinde gerekli kodların yazılıp derlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler yapıldıktan sonra ana Castalia dizini altındaki *simulations* klasörü içindeki yapılmak istenen test işlemi seçilerek çalıştırılır. Test işlemleri için gerekli ağ tanımlamaları yapılmalıdır. Tanımlamaların yapıldığı dosyaya konfigürasyon dosyası denmektedir.

5.3.4. Yeni Modül Oluşturma Süreci

Castalia modüler bir benzetim programıdır ve üzerine yeni modüller eklenmesine olanak verir. Yeni bir modül oluşturma süreci programın kullanılmasını anlamak açısından en önemli aşamadır.

Modül oluşturma sürecindeki ilk adım yeni kodun Castalia klasör yapısı içerisinde, doğru yere konumlandırılması ve bu klasörün, yeni modülün kaynak dosyalarını tutacak şekilde atanmasıdır.

Tablo 5.3’de geliştirilmek istenilen modüller için doğru klasör yapısı verilmiştir.

Tablo 5.3. Klasör yapısı

Uygulama:	<i>src/node/application/</i>
Yönlendirme:	<i>src/node/communication/routing/</i>
MAC:	<i>src/communication/mac/</i>
Hareketlilik:	<i>src/node/mobilityManager/</i>

Herbir klasör kendi içerisinde zaten alt klasörlere sahip olup birçok farklı modül uygulamaları içerir. Yeni modül için klasör oluşturulduktan sonra NED dili kullanılarak o modülün tanımlanması gerekir (modülün .ned dosyası). Bu dosya modül için oluşturulan klasörün altında ve modül isminde olmalıdır. Örneğin yeni modülümüzün adı "YeniCastaliaModulu" ise omnet isim standartlarına göre, oluşturulacak klasörün adı "yeniCastaliaModulu" (küçük harf ile başlanmalı). ve bu klasördeki .ned dosyasının adı da "YeniCastaliaModulu.ned" olmalıdır. Bu dosyada ilk olarak tanımlanan modülün paketleridir. Tanımlama işlemi .ned dosyasının, Castalia'nın src/ klasörüne göre göreceli konumunda "/" karakteri yerine "." karakteri konularak yapılır. Örneğin ;

package node.communication.mac.yeniCastaliaModulu;

şeklinde tanımlanır.

Sonraki adım modülün kendisini tanımlamaktır. Modülün bir üst klasörü "i" harfi ile başlayan bir .ned dosyasına sahiptir. Bu dosya arabirim ("interface") dosyasıdır ve modülün Castalia yapısı ile uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar. Örnekte yeni modülün bir Castalia MAC modülü gibi tanınması için "like" ifadesi kullanılarak arabirim modülü referans edilir.

*simple NewCastaliaModule **like** node.communication.mac.iMac*

Daha sonra bir parametre listesi tanımlanır. Bu parametreler benzetim konfigürasyon dosyasından, çalışma zamanında modüle iletilir. Her arabirim .ned dosyası zaten bir parametre kümesi içerir. Bu parametreler bütün MAC modülleri için zorunludur. Ancak bu parametrelere yenileri eklenebilir. Aşağıda "YeniCastaliaModulu"nın tamamı verilmiştir.

```

package node.communication.mac.yeniCastaliaModulu;
simple YeniCastaliaModulu like node.communication.mac.iMac {
  parameters:
    bool collectTraceInfo = default(false);
    int macMaxPacketSize = default(0);
    int macBufferSize = default(16);
    int macPacketOverhead = default(8);
    int newParameter1;
    string newParameter2 = default("default value");
    bool newParameter3 = default(false);
  gates:
    output toNetworkModule;
    output toRadioModule;
    input fromNetworkModule;
    input fromRadioModule;
    input fromCommModuleResourceMgr;
}

```

İlk 4 parametre *iMAC.ned* arabirim dosyasında tanımlanmıştır ve bunlar mecburidir. Her arabirim dosyası kendi zorunlu parametre kümesine sahiptir. Bu hangi modülün oluşturulduğuna bağlı olarak değişebilir. Zorunlu parametrelerden sonra 3 parametre "*YeniCastaliaModulu*"ne özel parametrelerdir. Bu parametreler için başlangıç değerleri belirtilebilir. Eğer parametre için herhangi bir başlangıç değeri atanmamış ise bu parametreler konfigürasyon dosyasında mutlaka atanmalıdır. Kapılar (gates) tamamen arabirim *.ned* dosyası tarafından tanımlanır ve bu bölüm arabirim dosyasındaki bölüm ile tamamen eşleşmelidir (Gates bölümü tamamen arabirim dosyasından kopyalanabilir).

Sonraki adım modülün gerçek kodunu yazmaktır. Bir modül C++ objeleri tarafından temsil edilir. Bu iş için sanal sınıflar yeni modül tanımlamalarında ana yardımcılar olup geliştirici, bu sanal sınıflarda tanımlı metodları ve yapıları kullanır.

Örnek olarak verilen "*YeniCastaliaModulu*" için *YeniCastaliaModulu.h* ve *YeniCastaliaModulu.cc* dosyalarını oluşturmamız gerekir. Yeni C++ sınıfları ise *.h* dosyasında tanımlanır ve modüle uygulanır. Sınıfların adı ile *.ned* dosyasındaki modül adları birbirleri ile eşleşmelidir. Oluşturulmak istenilen modül türüne göre Tablo 5.4'de sınıfların nasıl sanal sınıflardan veri alacağı ve tanımları gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Sanal sınıflar

Uygulama için:	<i>class YeniCastaliaModulu : public VirtualApplication{</i>
Yönlendirme için:	<i>class YeniCastaliaModulu: public VirtualRouting {</i>
MAC için:	<i>class YeniCastaliaModulu: public VirtualMac {</i>
MobilityManager için:	<i>class YeniCastaliaModulu: public VirtualMobilityManager{</i>

Modülü OMNeT modülü olarak kaydetmek için .cc dosyası Define_Module makrosu ile başlamıştır.

Define_Module(YeniCastaliaModulu);

Daha sonra metodların tanımlaması ve sanal sınıfların deklerasyonu yapılmalıdır. Metodlar, modülün tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Yeni dosyalar oluşturulduktan sonra benzetimin yeniden derlenmesi gerekmektedir. Aşağıdaki komutlar ile oluşturulan Castalia benzetimin derlenmesi için kullandığı komutlar verilmiştir;

Castalia \$ make clean
Castalia \$./makemake
Castalia \$ make

5.3.5. Castalia Sonuç Dosyalarının Kullanımı

Benzetim ortamında uygulamalar geliştirilip çalıştırıldıktan sonra program sonuçları içerisine yazdığı txt uzantılı dosyalar oluşturur. Çalıştırılan her test işlemi için ayrı ayrı dosyalar oluşturmaktadır. Ayrıca programın çalışması sırasındaki tüm adımları Castalia-trace.txt dosyasında tutmaktadır. Bu dosyalar içerisinde tasarım kısmında belirtilen özelliklere göre veriler yazılıdır. Tüm bu bilgilerin çıkarımı *castaliaresults* komutu kullanılarak alınır. Sonuçları anlamlandırmak ve istenilen formatta ayrıştırıp almak için bu komutun kullanımının bilinmesi önemlidir. Örneğin uygulama paket gecikme süresi ve alınan paket oranları diye iki çeşit çıkış üretir. Her çıkış NxM boyutunda çıkış üretir. N çıkışları üreten modül sayısıdır. M ise tek bir modüle sahip çıkışların farklı endeksleridir. *Castaliaresults* komutunun önemli kullanımları şöyledir;

radioTest\$ CastaliaResults

“Kullanılabilir Sonuç dosyalarını ve fonksiyonlarını listeler”

radioTest\$ **CastaliaResults -i 100809-004640.txt**

“Listelenen dosyalardan birini seçip içeriğindeki ölçüm parametrelerini gösterme”

radioTest\$ **CastaliaResults -i 100809-004640.txt -s packets**

“Parametrelerden birini seçip bununla ilgili her düğüme ait bilgileri görüntüleme”

radioTest\$ **CastaliaResults -i 100809-004640.txt -s packets –sum**

“Düğümlerin toplam paket bilgilerini toplama”

CastaliaModule sınıfında tanımlanmış metotlar ile benzetim çıktıları bir dosyaya formatlı biçimde yazılır. Bu metotlar CastaliaModule sınıfından türetilmiş, Castalia modüllerinde kullanılabilir. Basit çıktı ve histogram olmak üzere iki tip çıktı vardır. Basit çıktıda sadece bir sayı vardır (örneğin bir düğümün harcadığı enerji gibi). Basit çıktının daha karmaşık hali her biri bir etiket ile birleştirilmiş birkaç sayı olması durumudur. Örnek verilecek olursa çıktı "Telsiz paket problemi" ise buna ait 6 adet etiket gereklidir. Bu etiketler, "enterferans ile başarılı", "enterferanssız, başarılı", "enterferans ile, başarısız", "enterferanssız, başarısız", "düşük hassasiyet, başarısız" ve "yanlış durum, başarısız" etiketleridir. Bu durumda her etiket ile ilişkilendirilmiş sayı, paketlerin sayısını bildirirken etiket aynı zamanda paket sayısının açıklamasıdır ("Başarılı", "Başarısız" gibi). "Basit çıktı"nın en karmaşık şekli bir indekse sahip olması durumudur.

Diğer taraftan histogram bir sayı dizisidir ve minimum-maksimum değerleri arasında eşit aralıklı sayıları temsil eder.

Veri toplamaya başlamak için öncelikler çıktı isminin deklare edilmesi gerekir.

declareOutput(“çıkıtı için uygun bir isim”);

Bu metod kendi ismi ile yeni bir çıktı deklare eder. Daha sonra aşağıdaki örnekte olduğu gibi çıktıları toplamak için çıktı adları kullanılır.

collectOutput(“çıkıtı adı”, indeks, “etiket”, artım miktarı);

Bu metod artım miktarını double sayı olarak alıp belirlenen etiket ve indeks ile "çıkıtı adı"na ekler. Bu metod aşırı yüklenmiş bir metod olup diğer formlarında bütün argümanları tamamlamadan da kullanılabilir. Örneğin;

collectOutput(“çıkıtı adı”);

Bir tek "çıktı adı" değerini eklenir.

collectOutput("çıktı adı", 3);

3 indeksi ile "çıktı adı" değeri eklenir.

collectOutput("çıktı adı", "birimler");

"çıktı adı" değeri, "birimler" etiketi değeri ile eklenir.

collectOutput("çıktı adı", "", 35.83);

35.83 değeri çıktı adına eklenir. Eğer çıktı ayrı bir çıktı etiketine sahip değilse yukarıdaki örnekte olduğu gibi boş *string* kullanılır. Eğer değer, *integer* olsa idi yukarıdaki gibi boş *string* kullanılamazdı. Çünkü aşırı yüklenmiş bu fonksiyona bakarlarsa *integer* değer kullanılsaydı "çıktı adı"na 25 indeksli bir değer eklemiş olurdu.

Benzetim bittiğinde modülün bütün çıktıları çıktı dosyasına yazılır ve bu dosya hangi modülün hangi çıktıyı yazdığı bilgisini tutar.

5.4. Deneysel Ortam

Bu doktora çalışmasında önerilen model için kullanılan ikinci ortam uygulamanın çalışıp çalışmadığının test edildiği deneysel ortamdır. KAA'larla ilgili uygulama geliştirilirken uygulamanın deneysel ortam maliyetlerinin yüksek olması ve gerçekleştirme zorluğundan dolayı benzetim ortamında çalıştırılması gerekliliğini ortaya çıkarır. Geliştirilen uygulamaların büyük ölçekli ağ ortamları üzerindeki sonuçları benzetim programı üzerinden elde edilirken, sistemin çalışma sürecinin gerçek ortamda kontrolünün de yapılması çalışmanın doğruluğu açısından önemli bir kavramdır. Bu nedenle büyük ölçekli bir ağın aynı özelliklerini taşıyan makul sayıda donanımla oluşturulacak küçük bir örnek ağ üzerinden sistemin çalışması kontrol edilir. Böylece benzetimden elde edilecek sonuçların gerçek ortam üzerinde de benzer sonuçları vereceği gösterilmiş olur.

5.4.1. Deney Donanımlarının Tanıtılması

Bu doktora çalışmasında deneysel ortam için 2 adet Jennic marka JN5148-EK10 Evaluation Kit deney seti kullanılmıştır. Set içerisinde bulunan donanımlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Deney seti içeriği

Şekil 5.6’da gösterilen yapıdaki numaraların karşılığı şöyledir;

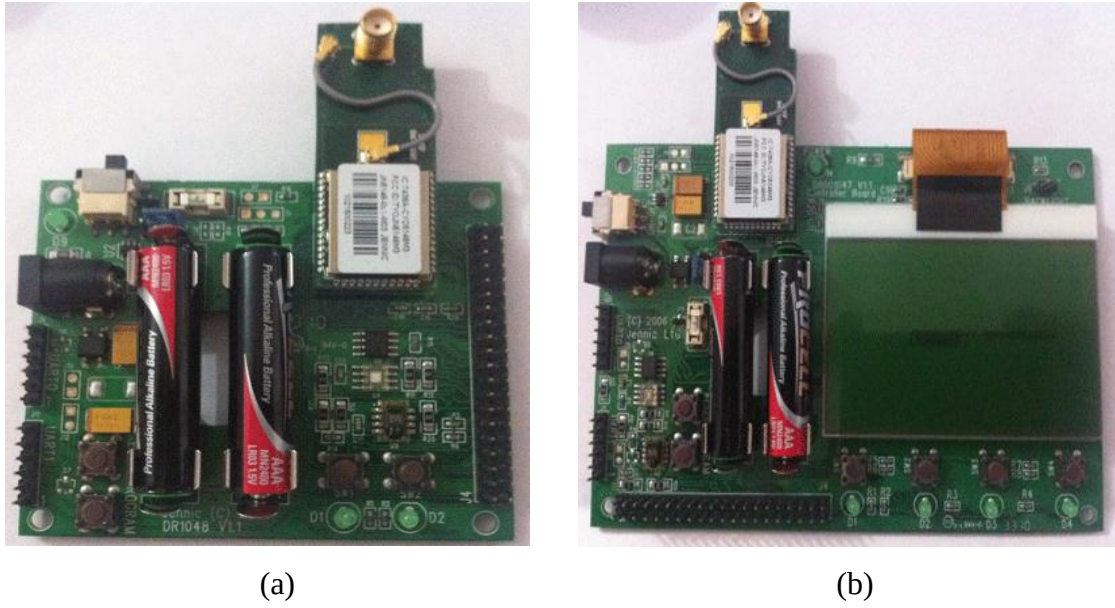
1. Toplayıcı yada Kaynak düğüm olarak kullanılabilen düğüm
2. Algılayıcı yada yönlendirici olarak kullanılabilen düğümler
3. Alıcı/verici modülleri
4. Antenler
5. Bilgisayar bağlantı kabloları
6. Piller

Her bir set içerisinde 4 adet yönlendirici düğüm, 1 adet toplayıcı yada kaynak düğüm özellikli düğüm elemanı bulunmaktadır. Kullanılan deney setleri OMNET++ altyapısını desteklemekte ve benzetim ortamında yapılan çalışmaların yüklenerek kullanılmasına olanak sağlamaktadır. 2 set kullanılarak 8 yönlendirici düğüm, 1 kaynak düğüm, 1 toplayıcı düğümden oluşan 10 düğümlü bir ağ modeli test ortamı olarak elde edilmiştir. Düğümlerin özellikleri şu şekildedir;

- Kullanılan tüm algılayıcılar, sıcaklık, nem ve ışık algılama özelliğine sahiptir.

- Kaynak ve toplayıcı düğümler üzerinde adaptör bağlantısı yapılabilir.
- Algılayıcı düğümler yönlendirici düğüm olarak kullanılabilir.
- Düğümlere anten bağlanarak RF üzerinden haberleşmeleri sağlanabilir.
- Bilgisayar bağlantı kabloları ile düğümler bilgisayara bağlanarak geliştirilen yazılım ve algoritmalar yüklenebilir. Böylece donanımlar üzerinden tasarlanan algoritmaların çalıştırılabilmesine olanak sağlanmış olur.

Kullanılan yönlendirici düğüm, toplayıcı ve kaynak düğüm yapısı Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



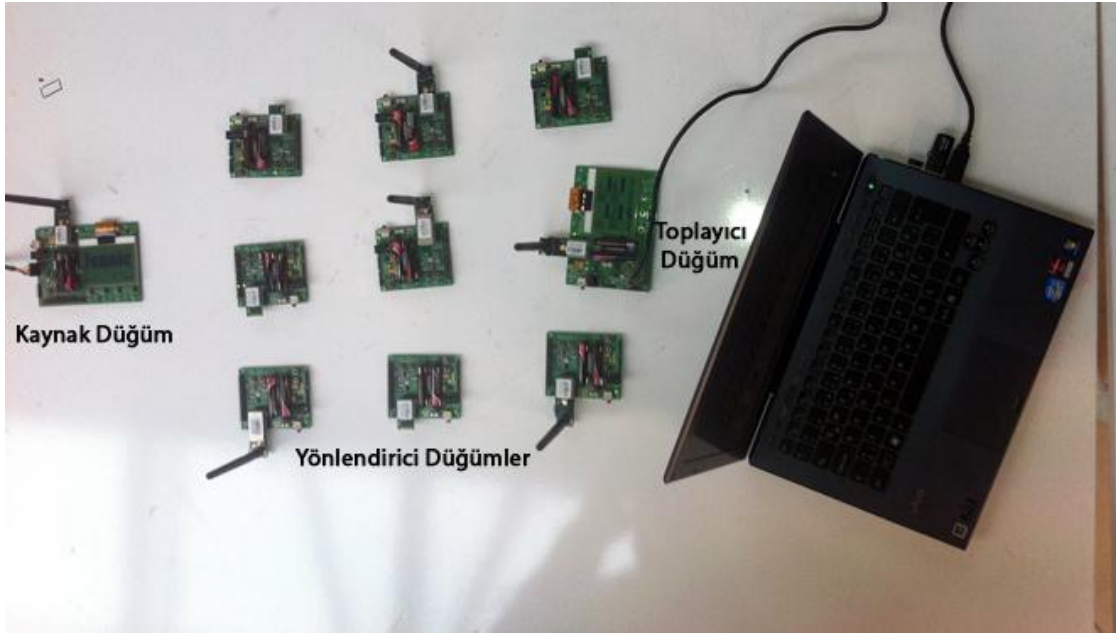
Şekil 5.7. Kullanılan düğümler a) YD b) TD ve KD

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi düğümler 2 adet AA pil ile ya da üzerlerinde bulunan adaptör bağlantı yuvaları ile adaptörle beslenebilir. Uygulamanın yapıldığı yöntemle enerji beslenme yöntemleri değişiklik gösterir.

5.4.2. Kullanılan Deney Düzenegi

Bölüm 5.4.1’de gösterilen donanımlar kullanılarak tez çalışması için gerekli olan deney düzenegi oluşturulacaktır. Düzenek içerisinde 8 adet yönlendirme için kullanılan düğüm 1 adet toplayıcı düğüm ve 1 adet kaynak düğüm bulunmaktadır. Böylece 10 düğüme sahip bir ağ modeli oluşturulacaktır. Önerilen model gereği kaynak düğüm ve toplayıcı düğüm adaptör bağlantısı ile enerji beslenmesi sağlanmıştır. Diğer düğümler 2 AA pil ile

enerjilerini sağlamaktadır. Bu çalışmada önerilen ve bölüm 6’da ayrıntılı olarak açıklanan doğru veri iletimi ve servis kalitesi tabanlı çoklu yönlendirme algoritması içerisinde yönlendirici düğümler, kaynak ve toplayıcı düğümler için önerilen modeller donanımlara gerçek ortamda yüklenerek test edilmiştir. Yükleme işlemi için düğümler bağlantı kablosu ile bilgisayara bağlanarak bilgisayarda bulunan dosyalar donanımlara yükleme yazılımı ile yüklenmiştir. Önerilen modelin testinin yapıldığı deney düzeneği Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kullanılan deney düzeneği

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi deney düzeneğinde 1 kaynak düğüm, 1 toplayıcı düğüm ve 8 adet yönlendirici düğüm bulunmaktadır. KD ve TD’nin enerji beslemeleri adaptör ile sağlanmaktadır. Diğer YD’ler ise 2 adet AA pil ile beslenmektedir. KD’den TD’ye ulaşım için kullanılan atlama sayısı 10 olmaktadır. Böylece algoritmanın belirlediği yollar içerisinde 10 atlama noktasına sahip bir yol örnek alınarak sistemin çalışması ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Düzenekte tüm YD’lerin yol tablolarına sadece bir önceki düğümden veri alabileceği ve bir sonraki düğüme veri gönderebileceği bilgisi yüklenmiştir.

6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA DOĞRU VERİ İLETİMİ VE SERVİS KALİTESİ İÇİN ÇOKLU YÖNLENDİRME ALGORİTMASI TASARIMI

6.1. Giriş

Bu bölümde tez çalışmasında KAA'lar için önerilen servis kalitesi tabanlı çoklu yönlendirme algoritması tanıtılacaktır. İlk olarak önerilen sistemin yapısı gösterilip, tanımlamalar ve kabuller açıklanacaktır. Bölüm devamında önerilen modelin kullandığı yöntemler adım adım açıklanacaktır. Modelin kullanmış olduğu ve bu bölümde açıklanan konular Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Önerilen model içerisinde geliştirilen süreçler

6.2. Genel Sistem Yapısı

KAA'larda çoklu yönlendirme kavramı Bölüm 4'de açıklandığı gibi bir KD ile bir TD arasındaki farklı yolların kullanılarak verinin iletilmesi olarak tanımlanabilir. Bu doktora çalışmasında önerilen çoklu yönlendirme algoritması KD ile TD arasında bulunan muhtemel ayrık çoklu yolları bulmayı amaçlamaktadır. Yönlendirme yapılırken öncelikli olarak tespit edilen farklı yollardan uygun olanın seçimi için çeşitli kriterlere bakılmalıdır. Bu çalışmada önerilen tasarım farklı yolların kullanımı için servis kalitesini göz önünde bulundurur.

Geliştirilen algoritma servis kalitesi olarak;

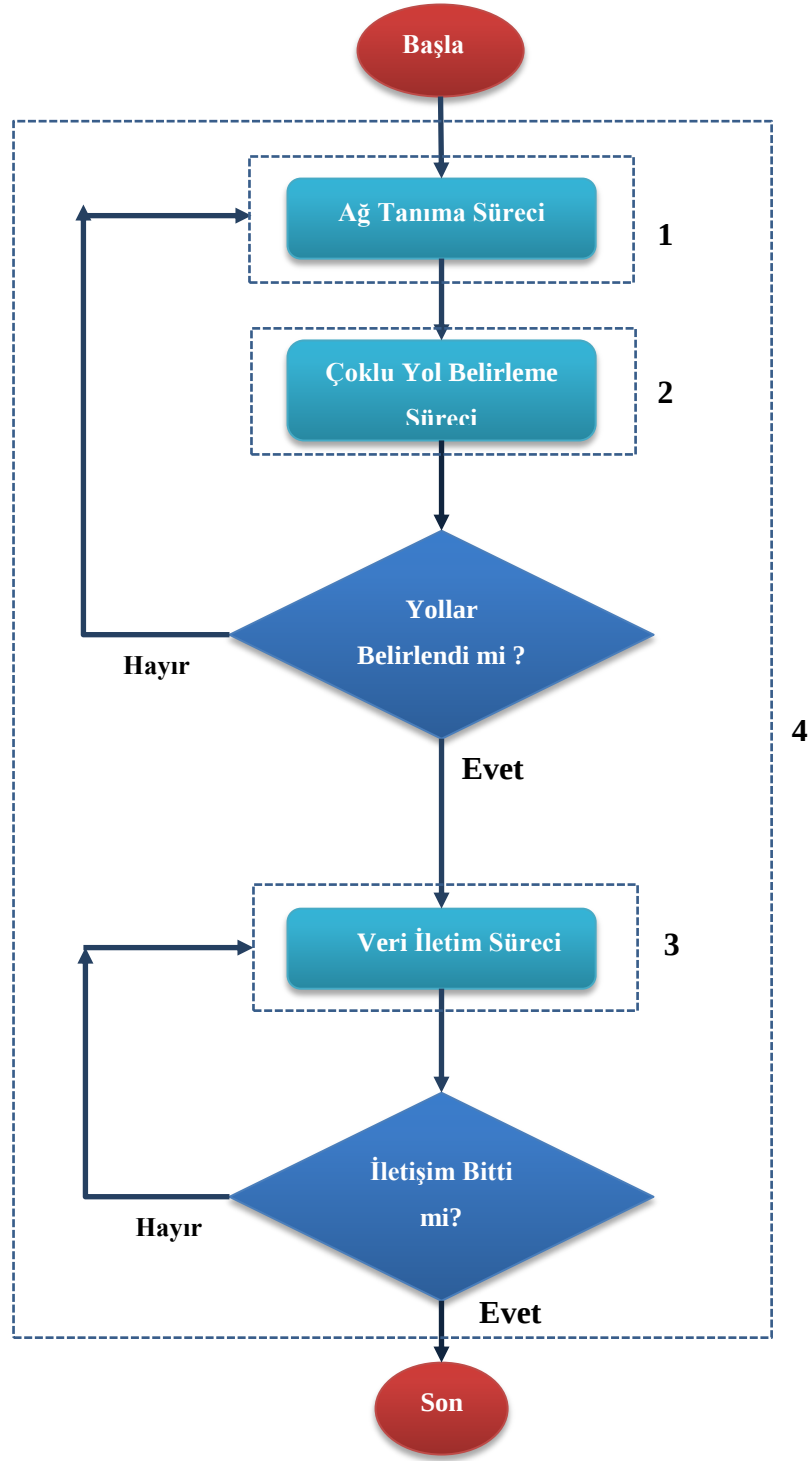
- Ulaşım garantisi
- Verinin ulaşım hızı
- Verinin güvenliği
- Etkin bant genişliği kullanımı

göz önünde bulundurulmuştur. Benzer kavramların literatürde de servis kalitesini ifade etmekte kullanıldığı açıkça ortadadır [15], [19], [20], [94], [103].

Önerilen sistem modeli Şekil 6.2’de gösterilmektedir. Şekil 6.2’den açıkça görüldüğü gibi sistem 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

1. **Ağ Tanıma Süreci (ATS):** Düğümlerin hepsinin yayın yaparak diğer komşuluklarını ve ağ topolojisini öğrenmeyle ilgili süreçtir.
2. **Çoklu Yol Belirleme Süreci (ÇYBS):** Ağ tanıma sürecinden elde edilen bilgilere göre KD ile TD arasındaki çoklu yolların belirlendiği ve yolların servis kalitesi kriterleri göz önünde bulundurularak önceliklendirildiği süreçtir. ÇYBS aşamasında önerilen model tüm koordinasyonun TD’nin yapmasına dayanmaktadır. Süreç sonunda elde edilen yolların kullanım sürecini TD kontrol etmektedir.
3. **Veri İletim Süreci (VIS):** Belirlenen en uygun yollar üzerinden verinin gönderildiği süreçtir.
4. **Uygulama ve Yönetim Süreci:** İlk üç süreci koordine eden süreçtir.

Süreçlerin içindeki mekanizmalar sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır



Şekil 6.2. Sistem yapısı ve akış diyagramı

6.3. Tanımlamalar ve Kabuller

KAA’larda algoritma ve protokol geliştirme süreçlerinde çeşitli kabullerin ve tanımlamaların yapılması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bazı kabuller yapılarak başarımlar ölçümleri yapılmıştır [82], [95], [97] [98]. Doktora çalışmasında

geliştirilen modelde de çeşitli tanımlamalar ve kabuller yapılarak sonuca gidilmiştir. Bu bölümde yapılan bu tanımlamalar ve modeller ayrıntıları ile açıklanacaktır.

6.3.1. Tanımlamalar

Burada algılayıcı tipleri, iletim çapları, yönlendirme yolları, yol algılayıcı sayıları, ağ topolojisi gibi kavramlar tanımlanmıştır. Buna göre;

- Ağ içerisindeki algılayıcı düğümler 3 farklı tipte gruplanmıştır. Bunlar verilerin algılanıp gönderildiği Kaynak Düğüm (KD), KD' den gönderilen verilerin ulaşması ve toplanması gereken Toplayıcı Düğüm (TD) ve KD ile TD arasında verilerin yönlendirilmesini sağlayan ve başka herhangi bir görevi olmayan Yönlendirici Düğüm (YD) şeklindedir.
- Gerçekleştirilen ağ içerisinde 0 nolu düğüm KD'yi, düğüm sayısının son numarası da TD'ye atanır.
- KD ile TD arasındaki veri akışı paketler ile yapılmakta ve her paket tam bilgi içermektedir. Yani kaynağın algıladığı veri ve diğer yönlendirme için kullanılan parametreler TD'ye tek bir bütün paket olarak ulaşmaktadır. Bu nedenle TD'de paketlerin birleştirilerek bir bütün paket oluşturulması söz konusu değildir.
- Algılayıcıların yerleştirildiği ve sistemin çalıştığı bölge NxM (N alanın eni, M boyu) dir. N ve M değerleri değiştirilerek algılayıcıların dağıtılacağı alan boyutu değiştirilebilmektedir.
- NxM alanı içerisindeki algılayıcı sayısı S dir. Algılayıcıların yayın yapabildiği iletim çapı R'dir.
- Herhangi bir zamandaki algılayıcı düğüm s, $s \in 1,2,3,\dots,S$ için pil enerji seviyesi e_{skalan} hesaplanabilmektedir.
- Bulunan çoklu yollardan herhangi bir A yolu üzerindeki YD sayısı K'dır ($K < S$).
- NxM alanı içerisindeki bir adet kaynak düğüm (KD), bir adet toplayıcı düğüm (TD)'nin olduğu kabul edilmiştir.
- KD'nin saniyede gönderdiği paket miktarı P_m ve bir paketin optimum gönderim süresi T_s 'dir.
- Tüm düğümlerin başlangıç enerji seviyesi 2 AA pil enerjisindedir.
- Tüm düğüm elemanlarının limitli bir tablo tutabilecek hafıza yapısına sahip olduğu kabul edilmiştir.
- Tüm düğümler iletişime yayın paketi göndererek başlar.

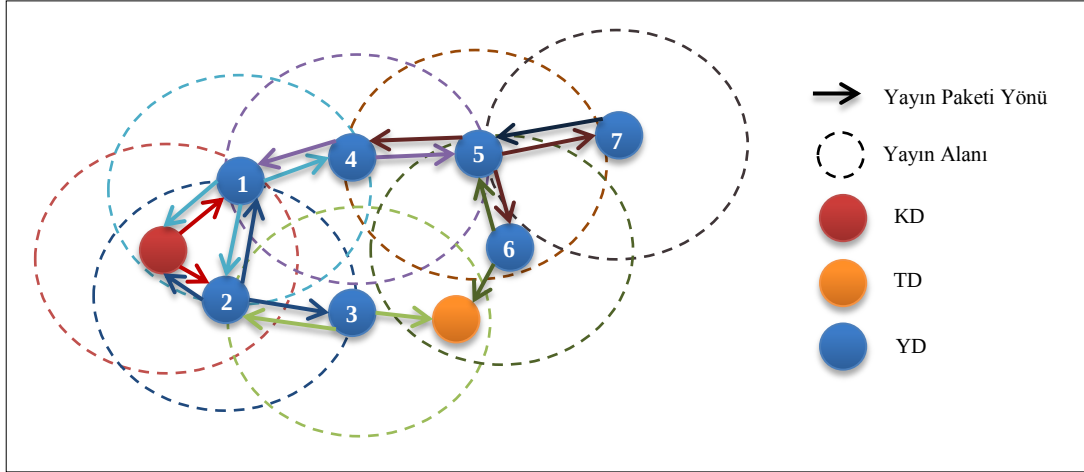
6.3.2. Kabuller

Bu tez çalışmasında geliştirilen modeldeki kabuller şöyledir;

- Ağ içerisindeki tüm algılayıcılar aynı donanımsal özelliklere sahiptir. Dolayısı ile tüm düğümler istenildiğinde KD, TD veya YD olabilmektedir.
- Ağ içerisindeki tüm algılayıcıların kendisine has bir kimlik numarası sistem tarafından başlangıçta atanmıştır.
- Algılama ve yayın parametreleri eşittir. Yani aynı algılama özelliklerine ve aynı veri iletim alanlarına sahiptir.
- Ağ içerisindeki her bir düğümün yönlendirme, iletim ve veri alımı için harcadığı enerjileri eşittir.
- Dağıtık mimarili yapıda düğümler arasındaki mesafe, enerji kullanımı, paket iletim süresi ile hızı ve gecikmeye etkisi farklılık gösterebilmektedir. Alan içerisine düğümler rasgele dağıtıldığından bu farklılıklar servis kalitesini etkiler.
- Ağ içerisinde herhangi bir hareketli düğüm bulunmamaktadır.
- Her düğüm kendisine ait bir dahili pile sahiptir. Ekstra bir enerji desteği (güneş enerjisi, yedek pil gibi) verilmemektedir.
- Ağda enerjisi tükenen düğüm ölmekte ve tekrar çalışmamaktadır.
- Modelde yönlendirme işlemi KD'den TD' ye yada TD'den KD'ye doğru yapılmaktadır. Diğer düğümlerin görevi sadece veri yönlendirmesidir. Çalışmanın amacı açısından diğer düğümlerin davranışları sadece yönlendirme işlemidir.
- Ağdaki tüm algılayıcılar iletişim için radyo vericisi kullanmaktadır.
- Hiçbir algılayıcıda GPS yada benzeri bir konum belirleyici birim bulunmamaktadır.

6.4. Ağ Tanıma Süreci

Ağ tanıma süreci önerilen sistemin ilk aşamasıdır. Belirlenen alan içerisine tüm düğümler yerleştirildikten sonra ağ tanıma süreci başlar. Bu aşamada KD yayın alanı içerisine giren diğer düğümlere bir yayın yaparak, alan içerisindeki komşuluklarını ve TD'ye ulaşımında kullanabileceği düğüm bilgilerini toplamayı amaçlar. Sürecin yapısı 9 algılayıcı bulunan bir örnek üzerinde Şekil 6.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Keşif yayınının yapısı

Şekil 6.3’de verilen örnekte önerilen ATS aşamasında KD kendi yayın alanı içerisine giren 1 ve 2 nolu YD’lere keşif YP’sini gönderir. YP’yi alan 1 ve 2 nolu YD’ler yayın paketini açarak, paket içerisindeki gerekli kontrolleri ve güncellemeleri yaparlar. Bu süreç bölüm 6.4.1’de ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Sonrasında 1 ve 2 nolu YD’ler kendi yayın alanları içerisine giren diğer düğümlere güncelledikleri YP’ yi yollar. Bu süreç tüm düğümlerin yayın alanlarındaki diğer düğümlere yayın mesajı gönderme işlemlerini bitirip TD’ ye ulaşıncaya kadar veya belirlenen atlama sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder. Böylece TD’ye ulaşılabilir tüm yollar belirlenerek TD içerisindeki yönlendirme tablosuna bu bilgiler kaydedilir.

6.4.1. ATS Algoritması

Ağ tanıma sürecinin başlamasını KD sağlamaktadır. KD yayın alanı içerisindeki düğümlere YP’yi gönderir. Sistem içerisinde kullanılan genel mesaj yapısı Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Yayın paketi gönderilirken genel mesaj yapısı içerisindeki gerekli alanlara bilgiler yazılarak mesaj oluşturulur.



Şekil 6.4. Genel paket yapısı

Şekil 6.4’de gösterilen MT mesaj tipini, AS atlama sayısını, KID gönderen düğümün ID’sinin, HID mesajın gönderileceği düğümün ID’sini, YM yol maliyetini, YC yol canlılık durumunu, YB yol bilgisini temsil etmektedir. Yayın paketi içerisinde belirtilen genel

paket yapısındaki MT, AS, KID, YM ve YB alanları kullanılmaktadır. Yayın paketinin yapısı kullanılmayan alanlar pasifleştirildiğinde Şekil 6.5’deki gibi olmaktadır.



Şekil 6.5. Yayın paketinin yapısı

Yayın paketinin oluşturulmasını ve gönderilmesini gerçekleştiren kod parçası Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

```
void ErhanQos::sendSinkDiscoverPacket() {
    discoverSN++;
    ApplicationPacket *newPkt = createGenericDataPacket((double)self,
    discoverSN);
        newPkt->setName(SINK_DISCOVERY_PACKET_NAME);
    newPkt->setKaynak(selfs.c_str());
    newPkt->setSequenceNumber(discoverSN);
    newPkt->setTtl(HC);
    newPkt->setYolMaliyet(YM);
    newPkt->setStringdataYB(selfs.c_str());
    toNetworkLayer(newPkt, BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
}
```

Şekil 6.6. Yayın paketi gönderim kodu

Yayın paketi içerisindeki alanların kullanımı şöyledir.

MT: Gelen yayın mesajının tipi. Modelin her aşamasında yayını alan düğümün ilk yaptığı işlem mesajın tipini kontrol etmektir. Düğüm ne yapması gerektiğine mesaj tipine bakarak karar verir. Çalışmada önerilen model içerisinde farklı mesaj tipleri mevcuttur. Kullanılan mesaj tipleri ve karşılıkları Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

000	Mesaj Yok
001	Yayın Mesajı
010	İSTEK Mesajı
011	CEVAP Mesajı
100	Yol Canlılık Mesajı
101	Veri Mesajı

Şekil 6.7. Mesaj tipleri ve karşılıkları

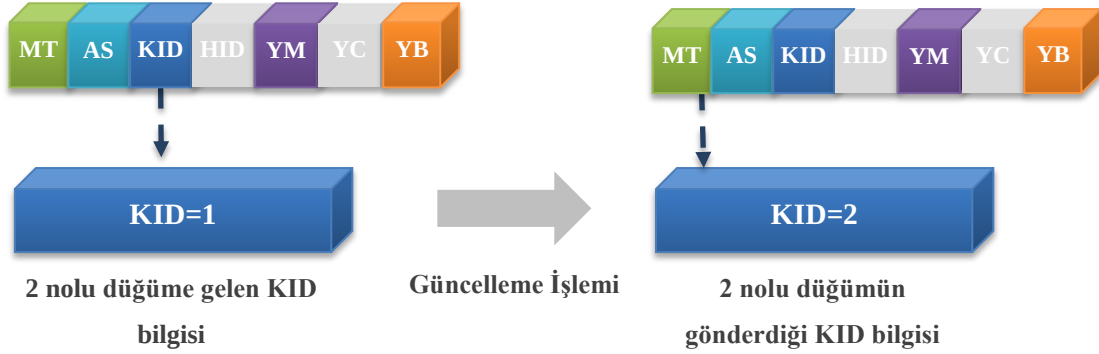
Gelen mesaj, yayın mesajı ise keşif alanı içerisindeki diğer düğümlere yayın yapar. İSTEK mesajı ise bu durumda tüm düğümler yerine veriyi göndermesi gereken düğüme iletir. MT alanı bundan sonraki açıklanacak bölümlerde sürecin ihtiyacına göre farklı mesaj tiplerine göre değişiklik göstermektedir. Bu mekanizma ÇYBS' nin çalışması açısından önemlidir. ATS açısından yayını alan düğüm bu alana bakar ve eğer bu değer yayın mesajı değerine eşitse sürece devam edilir.

AS : TD' ye ulaşılabilmesi için belirlenen maksimum atlama sayısı. AS alanı sadece yayın mesaj tipinde kullanılır. Diğer mesaj tiplerinde bu alan kullanılmaz. AS değeri gönderilecek mesaj paketinin uzun süre sistemde yönlendirilerek kaynakların gereksiz yere kullanılmasını önlemek için kullanılmaktadır. Gereksiz yönlendirmeler, sistem performansını azalmasına ve servis kalitesi kavramlarından ödün verilmesine neden olmaktadır.

Başlangıçta bu alana maksimum bir değer atanır. Yayın mesajını alan her düğüm AS değerini kontrol eder. Değer 0 ise bu paketi reddeder. Eğer 0 değilse AS değerini bir azaltarak günceller. Düğümün göndereceği yeni mesaj paketinde bu değer bir azaltılmış olarak yayın yapılır. Yayın mesajını alan her düğüm bu süreci tekrarlar. Sürekli azaltılarak güncellenen değer bir düğüme ulaştığında eğer sıfır değeriyle gelmişse bu durumda kontrolü yapan düğüm o paket için yayın yapmaz. Böylece ağdaki gereksiz yönlendirme problemi çözülmüş olur.

KID: Yayını gönderen düğümün düğüm numarası. Bu alan tüm mesaj tiplerinde kullanılmaktadır. Yapılan kabul gereği her düğüm için bir ID numarası sistem tarafından atanmaktadır. Düğümler yayın mesajı yaparken mesaj bilgisi içerisine kendi KID numaralarını bu alana yazarlar. Yayının alan düğüm bu alandaki bilgiyi alır ve mesaj

içerisindeki YB alanına bu bilgiyi ekler. Ekleme işleminden sonra bu alana kendi ID'sini yazarak iletim çapındaki diğer düğümlere yayın paketi olarak gönderir. Süreç diğer düğümlerde de aynı şekilde tekrarlanır. KID güncelleme süreci Şekil 6.8'da gösterilmiştir. Ağdaki tüm düğümler ağ içerisinde benzersiz bir kimlik numarasına sahip olduğundan KID değeri YB alanındaki yol bilgileri oluşturulurken kullanılmaktadır.



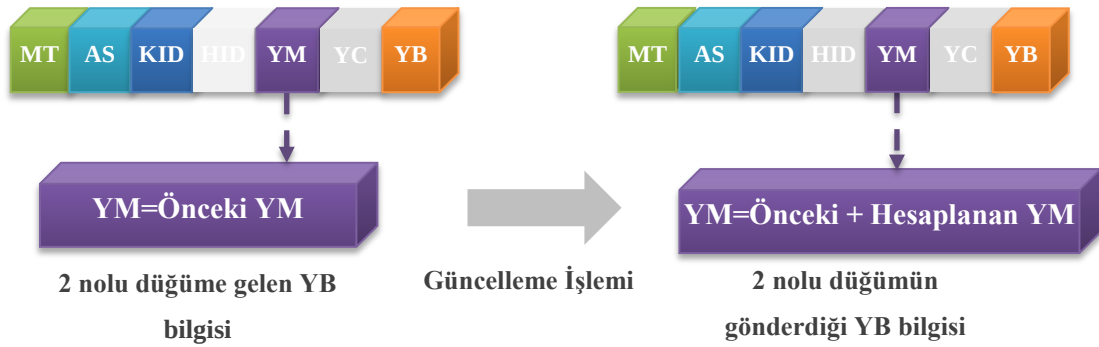
Şekil 6.8. GID güncelleme süreci

HID: Mesajın gönderildiği düğümün düğüm numarası. Mesaj tipi yayın mesajı olduğunda bu alan kullanılmaz. Diğer tüm mesaj tiplerinde bu alan kullanılır. Çünkü yayın mesajında düğümler aldıkları mesajı iletim çapları içerisindeki diğer tüm düğümlere gönderir. Mesaj tipi İSTEK, CEVAP, GÖNDER, YCM ya da veri iletim mesajı olduğunda verinin düğümler tarafından bir hedefe gönderilmesi gerekmektedir. Hangi düğüme veri göndereceği bilgisine sahip olan düğüm mesajı aldığı anda bu alan göndermesi gereken düğümün ID'sini yazar. Bu alanın kullanıldığı süreç Bölüm 6.6'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

YM: Yayını ileten düğümün hesapladığı düğüm maliyeti. YM alanı sadece yayın mesaj tipinde kullanılmaktadır. Diğer mesaj tiplerinde bu alanla ilgili bir işlem yapılmamaktadır. ÇYBS içerisinde ATS tarafından TD'de belirlenen yollar arasından seçim yapılırken YM bilgisine bakılarak karar mekanizmaları çalışmaktadır. İki düğüm arasındaki yol maliyeti denklem (6.1)'e göre hesaplanır [122], Bu denklem Castalia benzetim programının iletişim kanalında kullandığı ve yolla ilgili maliyet hesaplamalarını yaptığı denklemdir [121].

$$YM(d) = YM(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (6.1)$$

Burada d iki düğüm arasındaki mesafe, d_0 veri gönderilen düğümün başlangıç referans mesafesi, n sinyal bozunum katsayısı, σ standart sapma değeri, X_σ sıfır ortalamalı Gauss (db) değeridir. Hesaplanan $YM(d)$ değeri iki düğüm arasındaki sinyal zayıflama değerini desibel olarak hesaplar. Bu değer ne kadar düşük olursa iki düğüm arasındaki yolun veriminin o kadar yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle çalışmamızın amacı servis kalitesi elde etmek olduğundan bir yolun toplam YM değerinin düşük olması o yoldaki hızın, bant genişliğini etkin kullanımın o kadar fazla olması demektir. KD ile TD arasında yayın yapılırken her atlama noktasında bu değer hesaplanarak YM alanına eklenir. Bu işlem bir sonraki düğüm $YM(i+1) = YM(i) + YM(d)$ şeklinde hesaplanır. YM güncelleme işlemi Şekil 6.9’da gösterilmiştir.

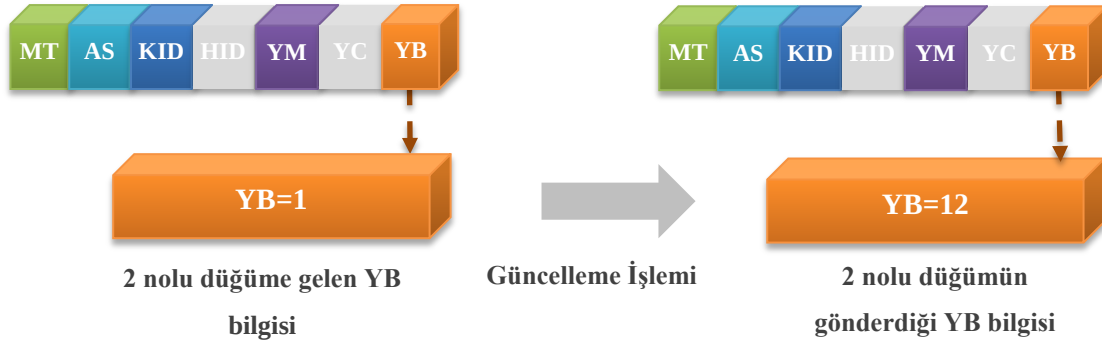


Şekil 6.9. YM güncelleme süreci

Böylece TD' ye ulaşıldığında o yol için toplam sinyal verimliliği hesaplanmış olur. TD' ye ulaşıldığında yol için hesaplanan toplam YM bilgisi de gönderilmiş olmaktadır. YB' ler yönlendirme tablosuna yazılırken YM değeride tabloya yazılır.

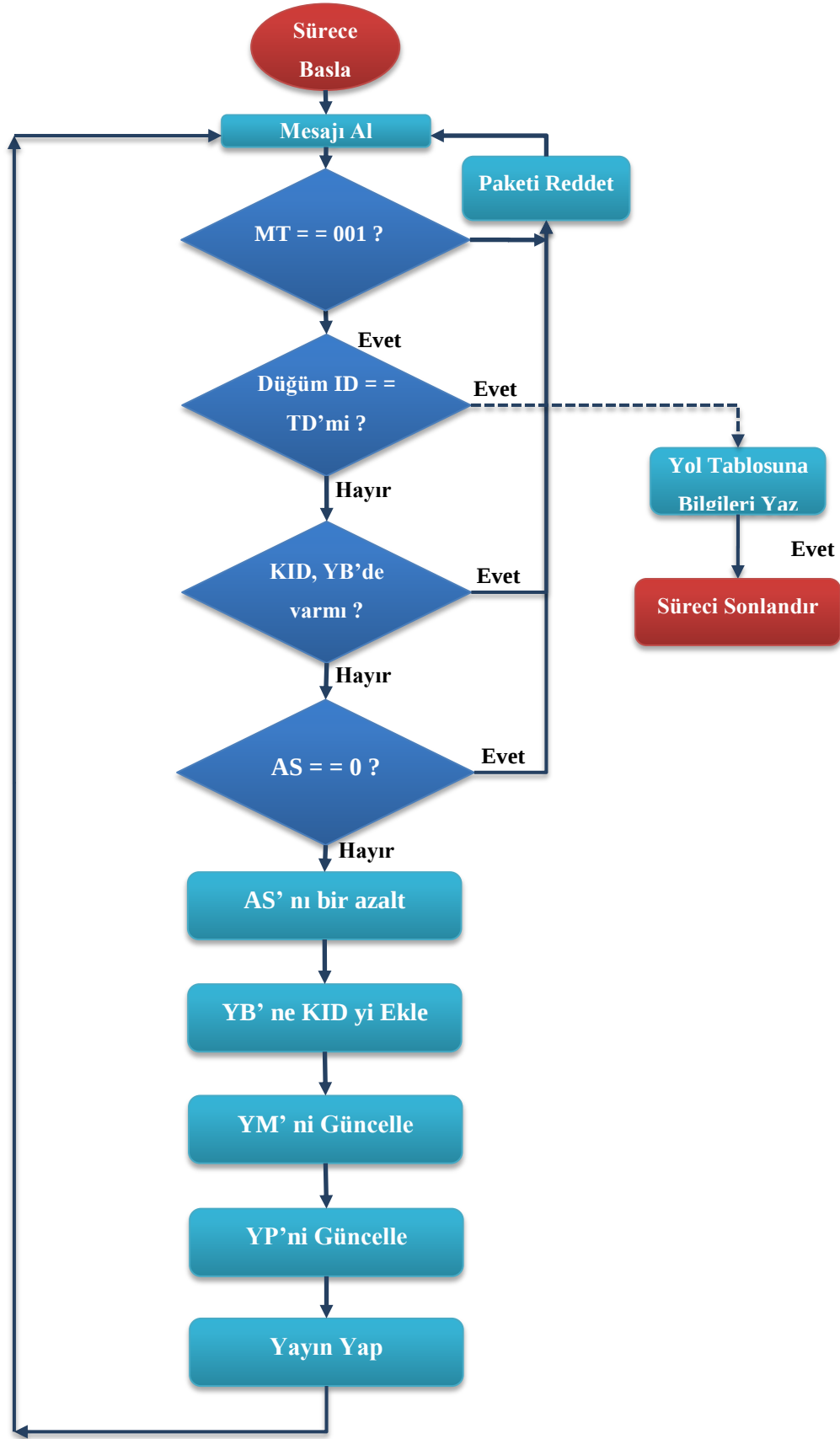
YB: Düğümlerin KID 'lerini eklediği yol bilgisi. YB alanı yayın mesajı ve İSTEK mesajı tiplerinde kullanılan bir alandır. Diğer mesaj tiplerinde bu alan kullanılmamaktadır. Yayın mesajını alıp gerekli kontrolleri yapan düğümler bu alana kendi KID bilgilerini ekleyerek tekrar yayın yaparlar. Yayın mesajını her alan düğüm bu alana aynı şekilde KID 'lerini eklerler. TD' ye ulaşıncaya kadar kullanılan tüm düğüm ID 'lerinin mesaj yayının içerisinde tutulması sağlanır. Böylece son durumda YB alanına yazılacak KD ile TD arasında kullanılan düğüm ID 'leri sıralı bir şekilde mesaj içerisinde yazılmış olur. YB alanının boyutu TD' ye ulaşıncaya kadarki kullanılan AS değeriyle orantılı olarak değişmektedir. Her düğümün ID 'sinin bir byte ile ifade edildiği düşünüldüğünde eğer TD' ye ulaşıldığında AS değeri 10 ise YB alanının boyutu $10 \times 1 = 10$ byte olmaktadır. Dinamik bir yapıda olan YB alanı yol üzerinde kullanılan düğüm sayısına göre

boyutlanmaktadır. TD ise kendisine ulaşan YB alanının AS sayısına bölerek çıkan 1 byte'lık yol düğüm ID'lerine ulaşmaktadır. YB güncelleme süreci Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. YB güncelleme süreci

Yayın alanı içerisinde bulunan ve mesajı alan diğer düğümler yayın mesajına bakarak çeşitli kararlar vermesi gerekmektedir. Ayrıca gerekli alanları güncelleme işlemine tabi tutar. Sürecin bütün yapısı Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Ağ tanıma süreci

Şekil 6.11’de görüldüğü gibi mesaj herhangi bir düğüm tarafından alındıktan sonra mekanizma çalışmaya başlar. İlk olarak YD aldığı paketin ne tür bir paket olduğunu kontrol eder. Eğer mesaj yayın paket ise sürece devam eder.

Yayını alan düğüm eğer TD olursa gelen yayın mesajı içerisindeki değerler TD içerisindeki yönlendirme tablosuna yazılır. Çalışmanın amacı KD ile TD arasındaki yolların bulunması olduğu için bu süreç önemlidir. Yayın paketini alan düğüm TD olmadığı durumda süreç devam eder.

Sonraki aşamada AS değeri kontrol edilir. Başta belirlenen AS sayısı 0 değerine ulaştığında yayın paketi kabul edilmez ve süreç başa döner. AS değeri 0 değilse bir işlem yapıldığı ve bu mesaj paketi diğer düğümlere gönderileceği için bu değer bir azaltılır ve süreç devam eder. AS sayısı kontrolü uzun yönlendirmelerin düğüm enerjilerini olumsuz etkilemesini engellemek için kullanılmaktadır. Çalışmamızda da belirlenen AS sayısının performans üzerine etkileri incelenmiştir.

Yayını alan düğüm ID’ sinin mesaj içerisindeki YB içerisinde olup olmadığına bakar. Eğer karşılaştırma işlemi sonucu “evet” olursa bu YP üzerinden bir işlem yapılmaz. Anlam olarak düğümün daha önceden bu paketi yayın yaptığı ve yayını alan başka bir düğümün tekrar aynı düğüme yayın yapmasıdır. Ayrıca yayın paketi üzerinde önceden işlem yapıldığı ve YB alanında kendisinin bulunmasıdır. Buda mükerrer düğümlerin yol içerisinde bulunması anlamına gelmektedir. Gereksiz yol bilgileri oluşturması, sistem çalışmasını döngülere sokması ve performansı etkilemesinden dolayı bu YP’ ye ihtiyaç duyulmamaktadır ve süreç başa geri döner. Karşılaştırma sonucu “hayır” olursa süreç devam eder. Bunun anlamı bu yayın bilgisinin YB içerisinde olmadığı ve önemli olduğudur.

Tüm durumları kontrol eden düğüm mesaj paketinde bulunan YB alanına kendi düğüm ID değerini ekler. Düğüm kendi alanındaki düğümlere yayın yaparken YB alanı içerisinde kendisine ait olan düğüm ID değeri de bulunur.

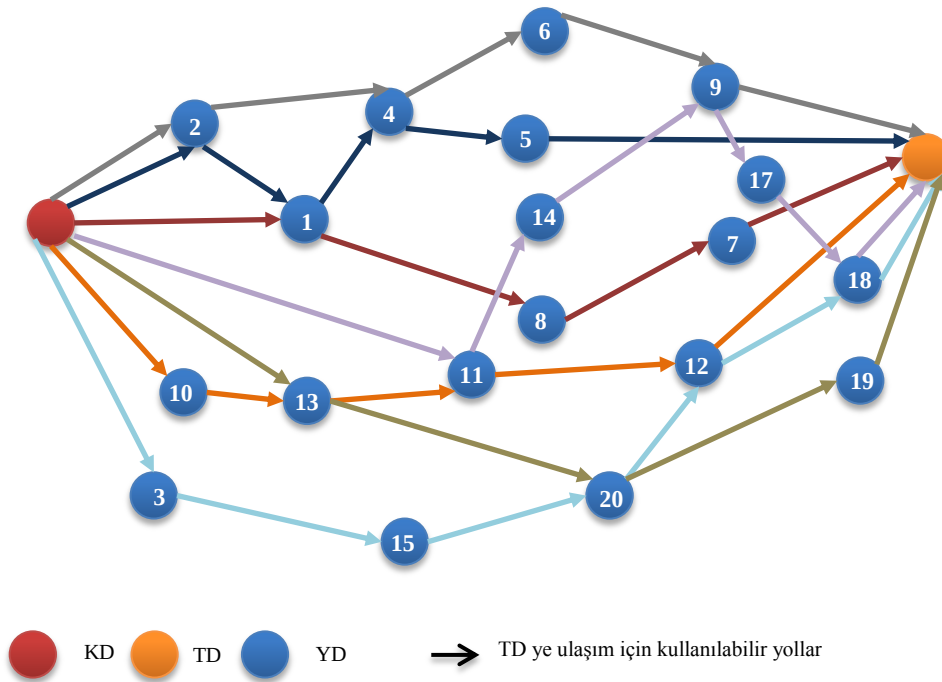
Sonraki aşamada mesaj içerisindeki YM alanı güncelleştirilir. Düğümler kendilerine yayın bilgisi ulaştığında bu alana hesaplanan YM bilgilerini ekler. Böylece tam yolun YM değeri bu alanda belirlenerek yönlendirme tablosuna yol ile birlikte kaydedilir. Kaydedilen tüm yol bilgileri bir sonraki süreçte değerlendirilerek asıl yol bilgilerinin çıkarımı için kullanılacaktır.

Gerekli tüm işlemleri yapan düğüm yenilenen mesaj bilgisini iletim çapındaki diğer düğümlere yayar. Bundan sonraki süreçte TD’de toplanan yol tablosu içerisindeki bilgiler

analiz edilerek kullanılacak yollar belirlenir. Bu aşama bölüm 6.5’de bulunan ÇYBS gerçekleştirir.

6.5. Çoklu Yol Belirleme Süreci

Çoklu yol belirleme süreci bu doktora geliştirilen çalışmanın ikinci aşamasıdır. Bu aşamada ağ tanıma sürecinden elde edilen yol bilgileri üzerinden analizler yapılmaktadır. Örnek ATS süreci sonundaki yapı Şekil 6.12’de verilmiştir. Süreç sonunda KD ile TD arasında alternatif çok sayıda ayrık olmayan yol elde edilmektedir.



Şekil 6.12. ATS sonundaki örnek yapı

Bulunan ayrık olmayan yollar yönlendirme tablosu içerisine kaydedilir. Sonrasında bunlar içerisinde servis kalitesi davranışlarına uyan en iyi yollar belirlenip yönlendirme tablosu içerisinde sıralanır. ATS’den elde edilen örnek yönlendirme tablosu Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. ATS sürecinden elde edilen örnek tablo

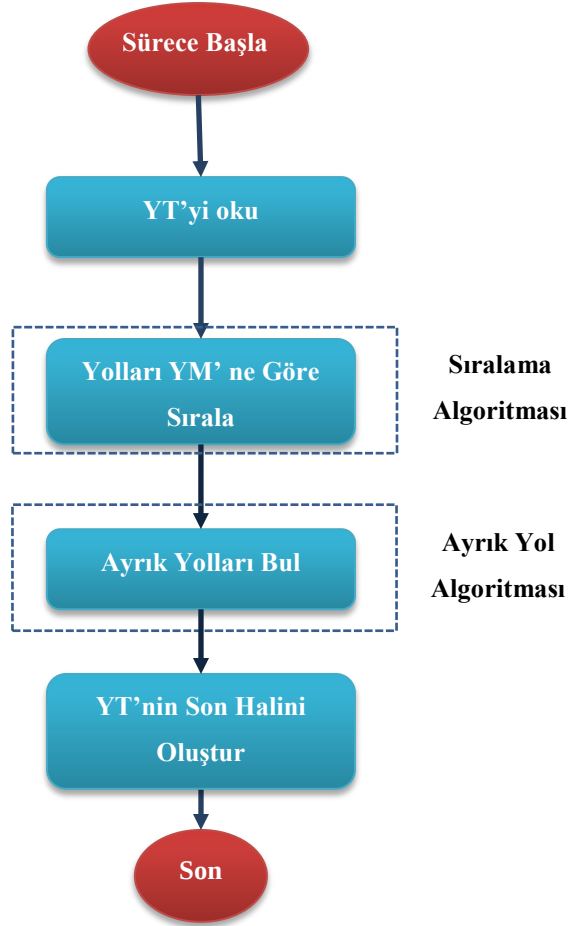
RID	YM	AS	MT	YB
1	12,04	3	1	1,8,7
2	10,09	4	1	2,1,4,5
3	13,08	4	1	10,13,11,12
4	9,15	4	1	2,4,6,9
5	14,08	5	1	11,14,9,17,18
6	15,2	3	1	13,20,19
7	14,85	5	1	3,15,20,12,18
..	..	..	..	..
N	..	..	..	...,.....

YM değerlerine göre Tablo 6.1 içerisinde sıralanan yollar ayrık yollar değildir. Yolları ayrık yol haline getirmek servis kalitesini garanti etmek için önemlidir. Önerilen çalışma servis kalitesi kavramına göre çoklu yönlendirme olduğu için sürecinin en önemli aşamasıdır. YM değerlerini dikkate alarak çoklu yolların belirlenmesi servis kalitesi kavramına karşılık gelir. Çoklu yollar belirlenirken birincil öncelik verinin hızlı ve eksiksiz gitmesidir. Bu nedenle elde edilen yollar istenilen formata getirilmek zorundadır. Bu işlemler belirli işlem birimleri tarafından yapılır. Sürecin akış şeması Şekil 6.13’de verilmiştir.

ÇYBS 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Yönlendirme tablosuna kaydedilen yollar YM’ye göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sıralama yapılmasının amacı YM açısından öncelikli yolların tablo içerisinde başlangıçtan sona doğru gitmesini sağlamaktır. Ayrıca bir sonraki aşamada ayrık yollar belirlenirken öncelikli ayrık yolun hangisi olacağına bu sıralamaya bakılarak karar verilir. Sıralama süreci için bölüm 6.5.1’de açıklanan sıralama algoritması çalışır.
2. Sıralanan yollar içerisinde ayrık yollar bulunur. Ayrık yolların bulunması gereksiz ve yüksek maliyetli yolların YT içerisinde çıkarılmasını sağlar. İlk süreçten elde edilen YM’ye göre küçükten büyüğe doğru dizilen yol bilgileri içerisinde birbiriyle kesişmeyen ayrık yollar çıkartılır. Burada bölüm 6.5.2’de açıklanan ayrık yol bulma algoritması (AYBA) çalışır.

3. Son halini alan ayrık yollu YT bulunur ve bir sonraki süreç olan bölüm 6.6'da açıklanan veri iletim süreci'ne gönderilir.



Şekil 6.13. Çoklu yol belirleme süreci yapısı

Çoklu yol belirleme sürecinin gerçekleştirilmesi

Şekil 6.14 'de gösterilmiştir. Bundan sonraki aşamada sıralama algoritması ve ayrık yol bulma algoritmasının çalışma yapısı ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

```

if(packetName.compare(SINK_DISCOVERY_PACKET_NAME) == 0) {
string yol = rcvPacket -> getStringdata2();
//trace() << "--->dugum:" << selfs << "yol:" << yol << " rssi" << rssi << " as:" <<AS;
if( isYD && SelfAdressControll(yol,selfs)==false )//updateNDPFTable((int)data, discoverSN)!=0
)//SelfAdressControll(yol,selfs)==false )
{
yol = yol + "," + selfs;
rcvPacket -> setStringdata2(yol.c_str());
//rcvPacket -> setByteLength(0);
if(updateNDPFTable((int)data, sequenceNumber ) ){
toNetworkLayer(rcvPacket->dup(),BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
//      trace() << "forward SINK_DISCOVERY_PACKET dugum:" << selfs << "yol:" << yol <<
" rssi" << rssi << " as:" <<AS << " sn:" << rcvPacket -> getSequenceNumber();
}
//trace() << "BUNE:" << updateNDPFTable((int)data, sequenceNumber ) << " data:" << (int)data
<< " size:" <<report_info_table[0].part.size();
}else if(isTD ){

if(TD_yol_bilgileri_table.size()==0)
{trace() << "WAIT_COLLECTING_ROUTE_DATA:"
<<WAIT_COLLECTING_ROUTE_DATA <<" TDYolBilgisiBeklemeSuresi:" <<
TDYolBilgisiBeklemeSuresi;
cancelTimer(WAIT_COLLECTING_ROUTE_DATA);

setTimer(WAIT_COLLECTING_ROUTE_DATA,TDYolBilgisiBeklemeSuresi);
}
vector<string> yolv;
split(yol, ',', std::back_inserter(yolv));
bool isRouteValid = true;
for(int k= 0; k < TD_yol_bilgileri_table.size() ; k++){
if(atoi(yolv[0].c_str())==TD_yol_bilgileri_table[k].KDid)
{
for(int l=1 ; l < TD_yol_bilgileri_table[k].hop.size(); l++ ){
for(int j=1 ; j< yolv.size(); j++){
if(TD_yol_bilgileri_table[k].hop[l]==yolv[j]){ isRouteValid = false;}
} //for j
} //for l
} //if yolv
} //for k
if(isRouteValid){
TD_yol_bilgileri newInfo;
newInfo.KDid =atoi(yolv[0].c_str());
newInfo.hop = yolv;
newInfo.hops = yol;
newInfo.aktif = true;
TD_yol_bilgileri_table.push_back(newInfo);
trace() << "bilgi SINK e ulasti-" <<yol << " gelen yol sayisi:" << TD_yol_bilgileri_table.size() ;
} }
}

```

Şekil 6.14. ÇYBS sürecinin kod parçası

6.5.1. Sıralama Algoritması

Sıralama algoritması YT içerisindeki yol bilgilerini YM değerlerine göre sıralar. YM bilgileri ATS aşamasında düğümler arasında yayın yapılırken her düğüm tarafından

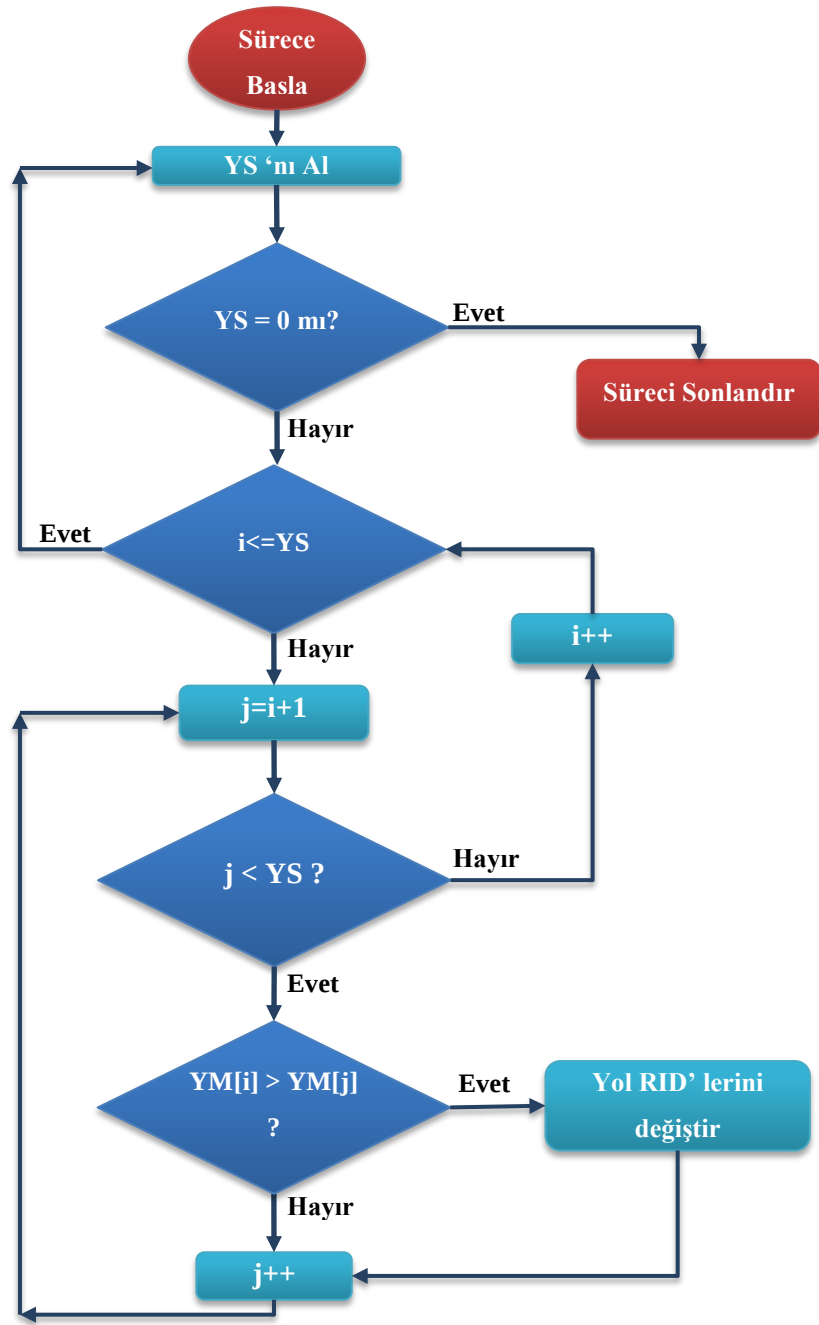
hesaplanarak mesaj içeriğine yazılmaktadır. Mesaj bilgisi TD'ye ulaştığında, TD yönlendirme tablosuna mesaj içeriğindeki alanları kaydetmektedir. Kaydedilen bu bilgiler ham bilgiler olup işlenmesi gerekmektedir. Ham bilgiler tamamıyla TD' ye geliş sırasına göre YT' ye yazılır. Bu nedenle YT içeriğinde anlamlandırılmamış bilgiler bulunmaktadır. Düğümlerin hangi YD' ler üzerinden veriyi KD ile TD arasında göndereceğinin belirlenebilmesi için YB' lerin istenen gereksinimleri karşılayacak hale getirilmesi gerekmektedir. Örnek bir işlenmemiş YT içeriği Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Örnek YT içeriği

RID	YM	AS	MT	YB
1	12,04	3	1	1,8,7
2	10,09	4	1	2,1,4,5
3	13,08	4	1	10,13,11,12
4	9,15	4	1	2,4,6,9
5	14,08	5	1	11,14,9,17,18
6	15,2	3	1	13,20,19
7	14,85	5	1	3,15,20,12,18
..	..	..	..	..
N	..	..	..	

Tablo 6.2'deki RID yol tanımlayıcı numarası, YM yol maliyeti, AS atlama sayısı, MT mesaj tipi ve YB yol bilgisi dizisidir.

Uygulamanın çalışacağı ağ ortamındaki düğüm sayısına göre yol sayısı (YS) değerinin sayısı da artmaktadır. Örnek tablo içerisindeki değerler için YM değeri en düşük olan yol 4 numaralı yol olduğu görülmektedir. YM' ye göre tabloyu küçükten büyüğe dizdiğimizde RID değerleri yukarıdan aşağıya 4,2,1,3,...N şeklinde olması gerekmektedir. Elde edilen bu dizilim çoklu yolların servis kalitesi açısından öncelik değeri verilmiş hali olur. Küçükte büyüğe doğru dizilim işlemi sıralama algoritması yapmaktadır ve yapısı Şekil 6.15'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Sıralama algoritması akış şeması

Şekil 6.15’de açıkça görüldüğü gibi geliştirilen yapıda YT içerisindeki RID sayısı alınıp bu değer YS değerine atılır. YS değeri sonlanana kadar algoritma çalışır. Daha sonra YM değerleri bir dizi içerisinde kontrol edilir. Önceki YM değeri, sonraki YM değerinden büyük olduğunda YT içerisindeki yolların RID değerlerini değiştirmektedir. Değişen yeni RID değerini diğer yol bilgileri ile kıyaslamaya devam eder. İşlem sürecinde aynı şartları sağlayan YM değerleri olduğunda RID değişim işlemi tekrarlanır. YT içerisinde yol

bittiğinde en iyi YM değerli yol RID si birinci sıraya kaydedilir ve ikinci yola geçilir. Süreç bu şekilde YT içerisindeki tüm yolların YM değerlerine göre sıralanması tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Böylece son durumda YM değerlerine göre sıralanmış bir YT tablosu elde edilir. Örnek tablo görüntüsü Tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. YM ye göre sıralanmış YT

<i>RID</i>	<i>YM</i>	<i>AS</i>	<i>MT</i>	<i>YB</i>
3	12,04	3	1	1,8,7
2	10,09	4	1	2,1,4,5
4	13,08	4	1	10,13,11,12
1	9,15	4	1	2,4,6,9
5	14,08	5	1	11,14,9,17,18
7	15,2	3	1	13,20,19
6	14,85	5	1	3,15,20,12,18
..	..	..	..	..
N	..	..	..	...,.....

Tablodan görüldüğü gibi YM değerlerine göre RID’ ler yer değiştirmiştir. Fakat YB bilgileri birbirlerini kapsayabilmektedir. Tablodaki YB bilgileri birleşik yollardır ve bir düğüm birden fazla yol içerisinde kullanılmaktadır. Bundan sonraki süreçte YB içerisinde ayrı yollar çıkartılmıştır. Ayrık yol bulma aşaması 6.5.2’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

6.5.2. Ayrık Yol Bulma Algoritması

AYBA bir önceki aşamadan elde edilen YB bilgileri içerisinde birbiriyle aynı ortak düğümler kullanmayan yolları çıkartmak için kullanılmıştır. Ayrık yol kullanımı verinin KD ile TD arasında veri iletimin, garanti etmek ve YM açısından en iyi yolu bulmak için kullanılmıştır. Ortak düğümler kullanan yolların kullanımı servis kalitesi açısından öncelikli yolların kullanımını engellemektedir. Birleşik yol kullanımı düğümlerin işlem yükünü arttırmakta ve ağ ömrünü azaltmaktadır. Örneğin bir düğüm birden fazla sayıda kullanıldığında enerji tüketimi artmakta buda düğümün pasif duruma geçmesini ve servis kaliteli yolu kullanamamak anlamına gelmektedir. Bölüm 4’de yapılan literatür araştırmalarında ayrı yolların kullanımının servis kalitesi üzerine olumlu etki gösterdiği

alışmalar ile gösterilmiştir [82], [89], [92]. Bu nedenle çalışmamızda çoklu yönlendirme için kullanılacak yolların ayırık yol olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayırık yol tanım olarak KD ile TD arasında aynı düğümleri kullanmayan yol olarak açıklanır.

Sırlama algoritması ile elde edilen örnek YT tablosundaki RID ve YB alanlarının gösterimi Şekil 6.16’da verilmiştir. Elde edilen YB bilgileri YM değerklerine göre elde edilen RID ‘ye göre sıralanmış şekildedir.

RID	YB
1	2,4,6,9
2	2,1,4,5
3	1,8,7
4	10,13,11,12
5	11,14,9,17,18
6	3,15,20,12,18
7	13,20,19

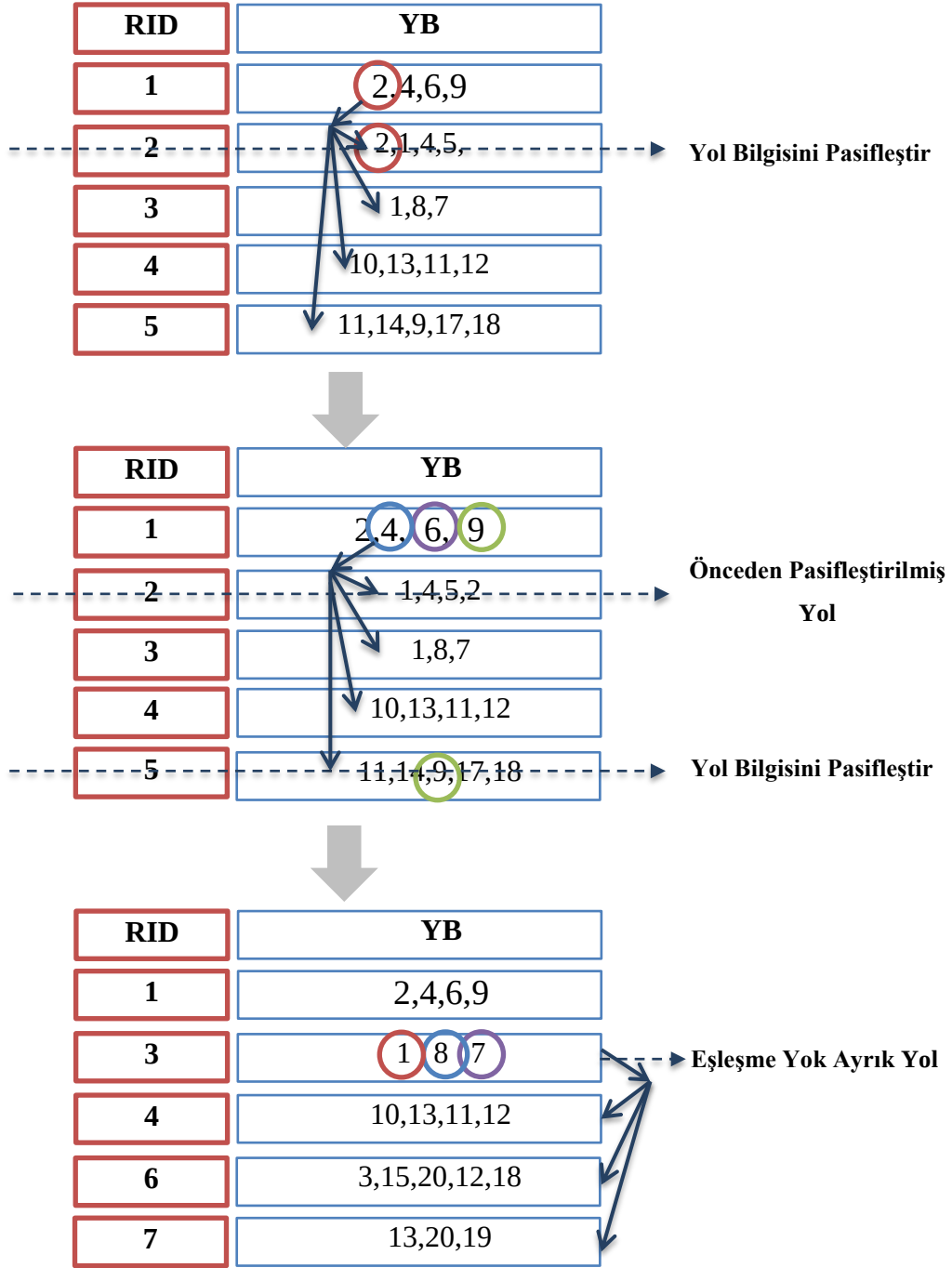
Şekil 6.16. Sırlama algoritmasından elde edilen örnek YT

Ayrık yol bulma algoritmasının örnek çalışma süreci şu şekildedir.

Öncelikle RID değeri 1 olan YB değerkleri alınır. Alınan 1 numaralı YB en iyi YM değerkine sahip bir yoldur ve bu yol içerisinde kullanılan düğümlerin diğer yollarda kullanılması istenmez. Bu nedenle 1 nolu YB içerisindeki 1. düğüm sırasıyla diğer YB’ler içerisinde aranır. Herhangi bir YB içerisinde bu düğüme karşılaşılsa o YB pasif edilir.

1. düğümün karşılaştırma işlemi bittiğinde RID=1 olan yol içerisinde 2. Düğüm diğer YB’ler içerisinde aranır. Bu süreç 1 nolu yol içerisindeki tüm düğümlerin karşılaştırılma süreci bitene kadar devam eder. Herhangi bir yolda bir düğümle karşılaşıldığında o yolda pasif duruma getirilir. 1 nolu yol için belirtilen işlemler bittiğinden YT içerisindeki aktif olan bir sonraki yola geçilir. Burada 1 yol için yapılan işlemler sonucunda sıradaki ikinci yol silinmiş olabilir. Bu nedenle aktif yollardan sonrakine geçilmesi gerekmektedir.

Örnek bir işleyiş yapısı Şekil 6.17’ de gösterilmiştir.



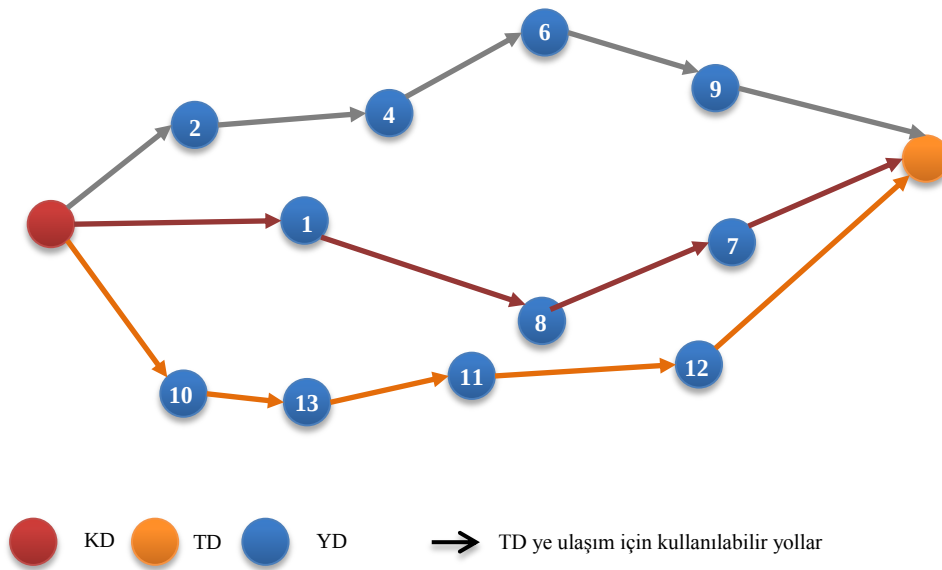
Şekil 6.17. Örnek AYBA işleyişi

Yapıda başlangıçta RID değeri 1 olan yol içerisindeki düğümler diğer yollar içerisinde aranmaya başlar. Şekil 6.17’ de görüldüğü gibi 1 numaralı yoldaki ilk düğüm olan 2 düğümünün diğer yollar içerisinde aranması sonucunda bu düğümün RID=2 olan yol içerisinde bulunduğu görülür. Algoritma gereği bu yol pasifleştirilir. Örnek YT içerisinde

başka herhangi bir 2 numaralı düğüme rastlanmadığı için RID=1 olan yoldaki 2. düğüme geçilir. Sırasıyla ikinci, üçüncü ve dördüncü düğümler diğer yollar içerisinde aranır. Örnekte görüldüğü gibi 9 numaralı 4. Düğüm RID=5 olan yol içerisinde bulunmuştur ve o yol bilgisi de YT içerisinde pasifleştirilmiştir. RID=1 olan yolun aranma süreci bittiğinde bir sonraki yola geçilir. Burada bir sonraki yol veya yolların pasif olması durumu söz konusu olduğundan bir sonraki yol olarak aktif sonraki yol seçilir. Örnekte bu yol RID=3 olan yol bilgisidir. RID=1 olan yol süreci için belirtilen tüm işlemler sırasıyla YT içerisindeki yollar bitene kadar devam edilir. Böylece son durumda YT içerisindeki aktif olarak kalan yollar kullanılacak yollar olarak değerlendirilmiştir. Bulunacak ayırık yol sayısı ağ içerisindeki düğüm sayısı ve TD iletim çapı içerisindeki düğüm sayısına bağlı olarak değişiklik gösterir. AYBA süreci sonunda asıl kullanılacak YT elde edilir. Elde edilen örnek ayırık YT Şekil 6.18’ de grafiksel gösterimi Şekil 6.19’da verilmiştir.

RID	YB
1	2,4,6,9
3	1,8,7
4	10,13,11,12

Şekil 6.18. Elde edilen örnek ayırık YT



Şekil 6.19. Ayırık yol gösterimi

YT içerisindeki aktif yollar kullanılarak VİS' ye geçilir. Bu aşamadan sonra elde edilen ayrıık yollar üzerinden verinin nasıl iletildiği gösterilecektir.

6.6. Veri İletim Süreci

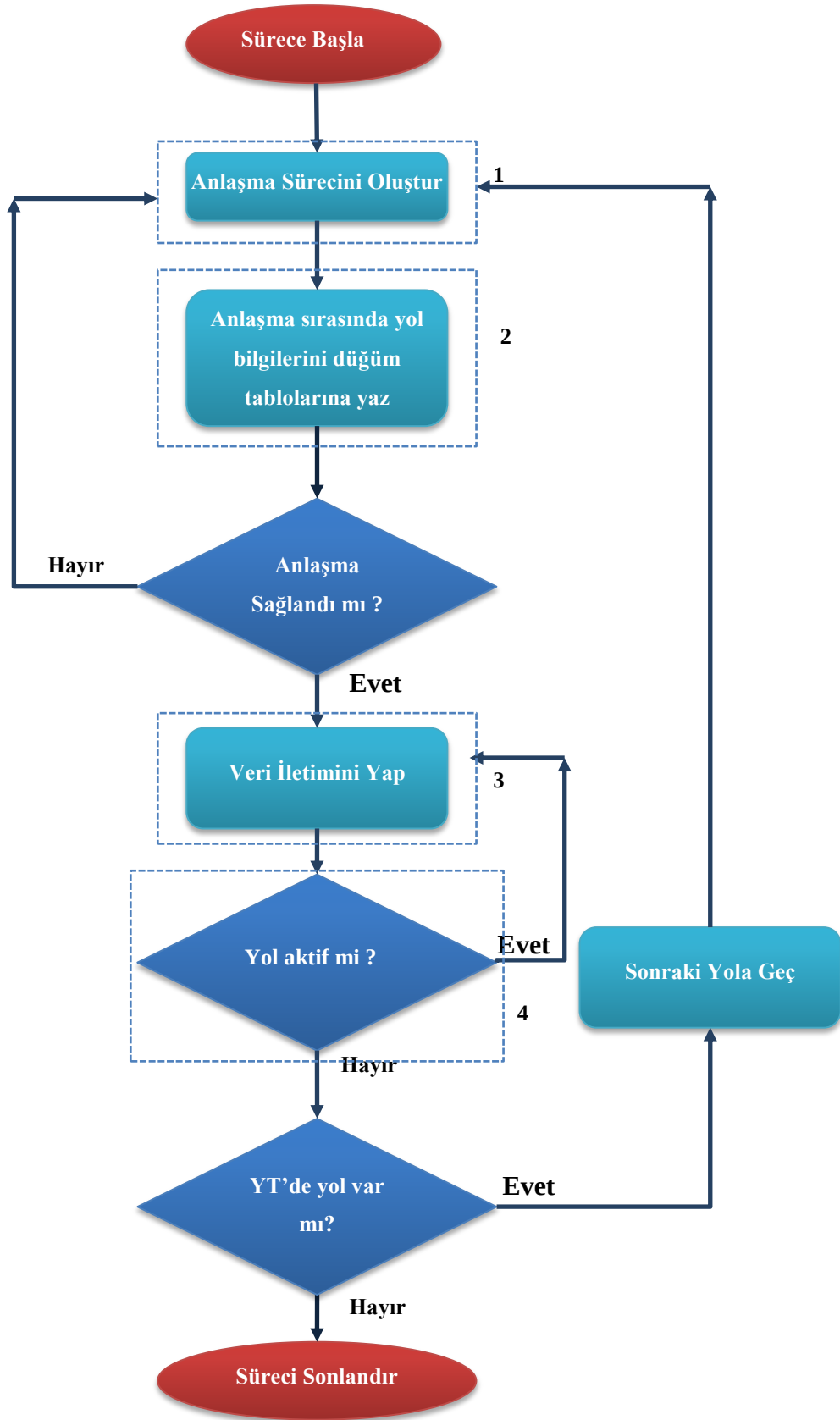
Çoklu yol belirleme süreci sonrasında bulunan ayrıık çoklu yollar üzerinden iletişimin gerçekleştirildiği süreç veri iletim süreci (VİS)'dir. VİS içerisindeki süreci başlatan ve gerekli tüm kararları veren birim TD'dir. TD içerisindeki YT' de bulunan yolların KD ve YD'lere bildirilmesini TD sağlamaktadır. Böylece YD'ler ve KD yol bilgilerini belirleme karar aşamalarında herhangi bir işlem yapmayarak verinin hızlı iletilmesini sağlayacaktır. Servis kalitesi açısından verinin hızlı iletilmesi önemlidir.

Bu aşamada KD ile TD arasında veri iletişimi yapılır. İletişim mekanizması içerisinde çeşitli süreçler bulunmaktadır. Bu süreçler KD ile TD arasında iletişimin başlayabilmesini, YD' lerin yol tablolarını oluşturmalarını ve YT içerisindeki ayrıık yolların ne kadar süre ile kullanılacağına belirlemektedir. Bu çalışma öncelikli olarak servis kalitesi belli seviyenin üzerinden tutmayı amaçlamış olduğundan verinin iletişim ortamında güvenli ve tam iletilmesi servis kalitesi kavramının bir bölümünü kapsamaktadır. İletim ortamındaki önerilen mekanizmalar verinin KD ile TD arasında doğru iletilmesini ve ağı dahil olabilecek zararlı düğümlerin ağ üzerinde iletişim kuramamasını garanti etmektedir. Böylece servis kalitesinin güvenlik kısmı elde edilmiş olmaktadır.

VİS içerisindeki mekanizmalar şöyledir;

1. TD ile KD'nin iletişim için anlaşması
2. Anlaşma işlemi sırasında YD'lerin yol tablolarının oluşturulması
3. Verinin İletilmesi
4. Yol kullanım sürecinin kontrolü

VİS' in 4 mekanizmayı içeren gösterimi Şekil 6.20'de verilmiştir. Bundan sonraki süreçte bu mekanizmalar ayrııntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 6.20. Veri iletim sürecinin yapısı

6.6.1. TD ile KD'nin İletişim için Anlaşması

KD'nin TD' ye veri iletimine başlayabilmesi için aralarında bir anlaşmanın sağlanmış olması gerekmektedir. Bu gereklilik iletişim sırasındaki oluşabilecek kopmaları yada ulaşması gereken verilerin ulaşamaması durumlarını kontrol etmektedir. Gerçekleştirilen bir bağlantının kopması yada gönderilen verinin ulaşamaması servis kalitesini kötü yönde etkileyecektir. Önerilen model ile servis kalitesini etkileyecek bu durumlar anlaşma mekanizmasıyla çözülmüştür.

TD ile KD arasında anlaşmanın sağlanabilmesi için 3 tip mesaj kullanılmıştır. Bunlar İSTEK, CEVAP ve GÖNDER mesajlarıdır. Genel mesaj paketi içerisindeki tüm alanlar bu aşamada kullanılmaz. Anlaşma için kullanılan İSTEK mesajı yapısı ve kullanılan alanlar Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Genel mesaj paketi içerisinde kullanılmayan alanlar pasif olarak gösterilmiştir. MT, AS, KID, HID ve YB alanları bu mesaj tipinde kullanılır. MT(Mesaj Tipi) mesajın tipini, AS(Atlama sayısı) TD'de bulunan yol için hesaplanan atlama sayısını, KID (Kaynak ID) mesajı gönderen düğümün ID değeri, HID (Hedef ID) mesajı alması gereken düğümün ID değeri ve YB(Yol bilgisi) ise iletişimde kullanılan ve bölüm 6.5'de elde edilen yol bilgisidir.



Şekil 6.21. İSTEK mesajı yapısı

CEVAP ve GÖNDER mesajlarının yapısı ve içerisindeki alanlar Şekil 6.22' de gösterilmiştir. Genel mesaj paketi yapısında kullanılmayan alanlar pasif gösterilmiştir. CEVAP ve GÖNDER mesajlarında MT, KID ve HID alanları kullanılır.



Şekil 6.22. CEVAP ve GÖNDER mesajı yapısı

TD iletim sürecine başlamadan önce öncelikle KD'ye bir İSTEK mesajı gönderir. İstek mesajı TD içerisindeki ilk yol üzerinden gönderilir. İSTEK mesajı KD'ye giderken yol üzerindeki tüm YD' lerin yol tablolarının içeriği güncellenir. YD' ler yol tablolarına veriyi

aldıkları düğümün adresini ve göndermesi gereken düğüm adresini kaydederler. Örnek YD yol tablosu Şekil 6.23’de gösterilmiştir. AID mesaj alınan düğümün, GID ise gönderilmesi gereken düğümün ID numarasıdır.

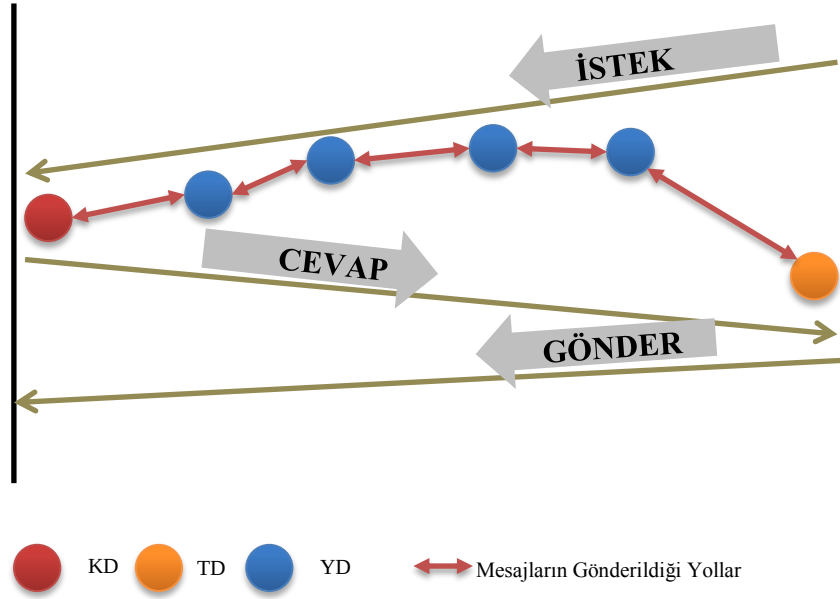
YD Yol Tablosu

AID	GID

Şekil 6.23. YD yol tablosu gösterimi

Yol tablosu oluşum süreci bir bölüm 6.6.2’de ayrıntılı olarak açıklanacaktır. İSTEK mesajını alan KD, YD’ ye bir CEVAP mesajı gönderir. CEVAP mesajının amacı aradaki yolun kontrolünün sağlanmasıdır. Böylece güvenli bir iletişim ağı kurulmuş olacaktır. TD’den CEVAP mesajı gelirken düğümler İSTEK mesajı aşamasında oluşturdukları yol tablolarına bakarak veriyi gerekli düğüme gönderirler. TD, KD’den cevap mesajını aldığı anda yolun aktif olduğunu ve iletişimin başlaması için şartların oluştuğuna karar verir ve KD’ye mesaj göndermesi için GÖNDER mesajı yollar. GÖNDER mesajıda İSTEK mesajında düğümlerde oluşan yol tabloları kullanılarak YD’ler tarafından KD’ye gönderilir. GÖNDER mesajını alan KD veriyi iletmeye başlar. Böylece TD ile KD arasında bir üç yollu anlaşma modeli oluşturulmuş olur. Bu modelin kullanım amacı araya sızacak güvenlik tehditlerini önlemek ve servis kalitesi açısından verinin tam ve doğru bir şekilde iletilmesini garanti etmektir. Ayrıca YD’lere yol bilgisi sadece İSTEK mesajı ile gönderilerek diğer aşamalarda herhangi bir bilgi gönderilmemektedir. Böylece ağdaki veri fazlalığı oluşturulmamış, düğümlerin işlem yükü azaltılmış ve etkin bant genişliği kullanımı sağlanmıştır.

Belirtilen anlaşma sisteminin yapısı Şekil 6.24’de gösterilmiştir.



Şekil 6.24. Anlaşma sistemi

Bundan sonraki süreçte bu aşamada belirtilen YD'lerin yol tablolarının oluşumu ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

6.6.2. YD'lerin Yol Tablolarının Oluşturulması

Bir önceki bölümde açıklanan aşama içerisinde çeşitli mesaj süreçleri gösterilmiştir. TD ile KD arasında iletişim kurulabilmesi için gönderilen İSTEK mesajı sırasında YD'lerin hangi düğümden veriyi alacağı ve hangi düğüme veriyi göndereceğinin öğretilmesi gerekmektedir. VİS başlangıcında tüm YD'ler hangi düğümler arasında iletişim kuracağı ile ilgili herhangi bir bilgiye sahip değildir. Bu nedenle YD'ler içerisindeki yol tablolarına bu bilgilerin yazılması sağlanarak iletişim sürecinin oluşturulması gerekmektedir. TD, KD'ye İSTEK mesajı gönderdiğinde mesaj yapısı içerisinde YB ve AS'de bulunmaktadır. TD gönderdiği mesajın YB alanının en başına başlangıçta belirlenen KD ID'si olan 0 değerini, HID bölümüne YB içerisindeki son düğümün ID'sini, KID bölümüne kendi ID numarasını, AS değerini bir azaltarak ve YB bilgisinden ilk gitmesi gereken (YB'deki son düğüm) düğümün numarasını çıkararak yazar. Böylece TD den çıkan ilk paket için verinin kimden gittiği ve nereye gitmesi gerektiği, sonraki sürecin YB bilgisi ve AS değeri belirlenmiş olur. Veri hedef düğüme ulaştığında öncelikle MT alanı kontrol edilir. Eğer bu bir İSTEK mesajı ise hedef düğüm paket içerisindeki mesajın geldiği KID değerini alarak bu bilgiyi yol tablosu içerisindeki

AID alanına yazar. Sonrasında YB içerisindeki son düğümü bulur. Son düğümü bulma işlemini YB içerisindeki veriyi AS sayısına bölerek en sondaki veri bloğuna bakarak bulur. Bu son düğüm ID' si veriyi göndermesi gereken düğümün ID' sidir ve bu bilgiyi kendi İSTEK mesajı içerisindeki HID değerine yazar. Yazma işleminden sonra YB içerisindeki bu düğüm bilgisini siler ve AS değerini tekrar bir azaltır. İSTEK mesajı içerisindeki KID değerine de kendi düğüm ID' sini yazarak bir sonraki hedefe mesajı iletir. YD' ler İSTEK mesajını her ilettiğinde YB içerisindeki düğüm ID' leri AS sayısına bağlı olarak azalır ve süreç İSTEK mesajı içerisindeki herhangi bir ID bilgisi kalmayana yada AS değeri 0 olana kadar sürer. YB içerisindeki son düğüm ID değeri KD'ye ait olduğu için veri KD'ye iletilmiş olur.

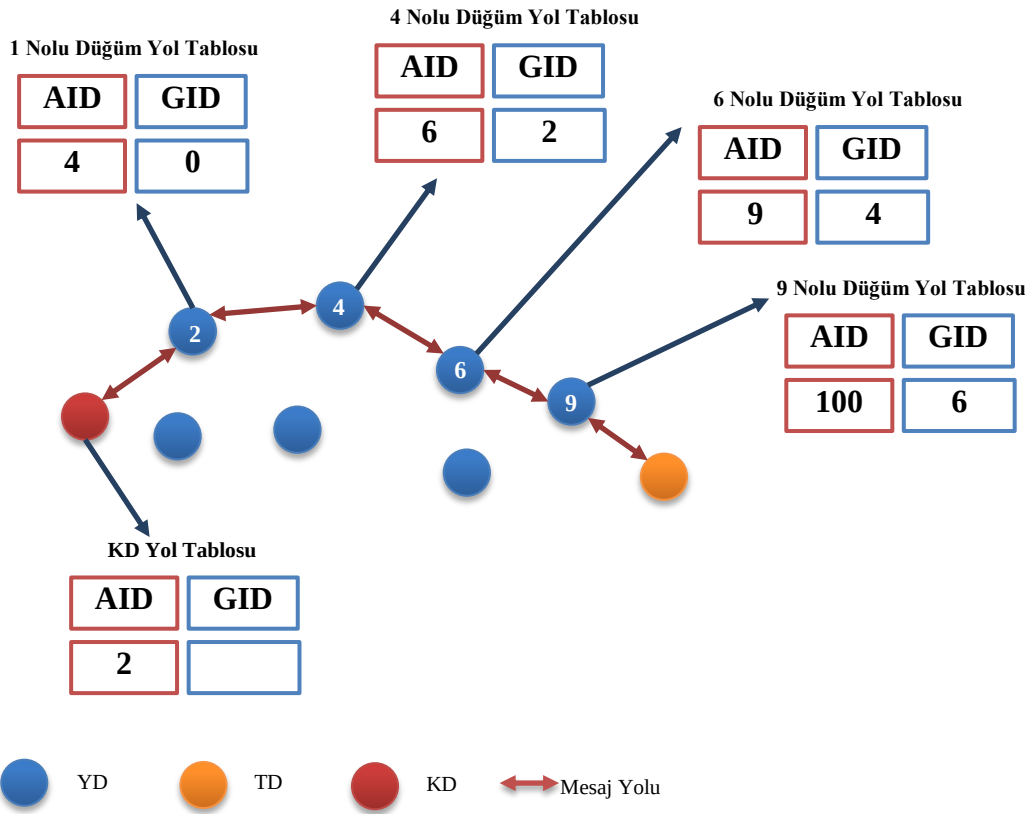
Süreç sonunda tüm YD'lerin yol tabloları içerisinde veriyi aldığı ve göndermesi gerektiği düğümlerin ID'leri yazılmış olur. Bu işlem sadece İSTEK mesajı gönderildiğinde gerçekleştirilir ve diğer süreçlerde yolla ilgili YD'leri bilgilendirmeye ihtiyaç kalmaz.

Yapılan bu işlemin ağ açısından birçok faydası vardır. Literatür araştırmasında görülmüştür ki genellikle yönlendirme aşamalarında ağda YD' ler tüm yolla ilgili bilgiyi sahiptir ve iletişime ilgili süreçlerin hepsinde bu yol bilgisi ağ içerisinde bulunmaktadır. Çalışmamızda ise sadece İSTEK mesajı gönderimi sırasında TD' nin veriyi gönderdiği düğüm bu bilgiye sahip olmaktadır. Sonraki süreçlerde YB güncellendiği için diğer düğümlere tam yol bilgisi gitmemektedir. Genel süreçlerde ise YD'lerin tek bildiği bilgi veriyi hangi düğümden alacağı ve hangi düğüme göndereceği bilgisidir. Böylece ağda oluşabilecek herhangi bir sızma olayında, sızan düğüme gelen veri içerisinde verinin alındığı ve gönderilmesi gereken düğüm ID'lerinden başka bir bilgi olmayacaktır. Buda sonuç olarak servis kalitesi açısından ağın veriyi göndermeyi garanti etmesi ve verinin gizliliğinin korunmasını sağlamaktadır.

Sistemin işleyişinin YT içerisindeki örnek birinci yol üzerinden gösterimi Şekil 6.25'de verilmiştir.

Örnek İSTEK mesajı içeriği

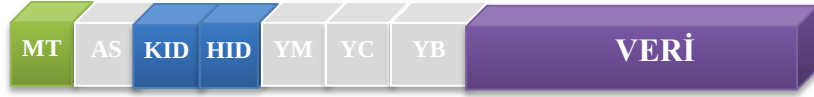
HID	KID	AS	MT	YB	
	100	5	İSTEK	0,2,4,6,9	→ Kayıtlı 1.YB
9	100	4	İSTEK	0,2,4,6	→ 1. İşlem
6	9	3	İSTEK	0,2,4	→ 2. İşlem
4	6	2	İSTEK	0,2	→ 3. İşlem
2	4	1	İSTEK	0	→ 4. İşlem
0	2	0	İSTEK		→ 5. İşlem



Şekil 6.25. Örnek yol tablosu oluşturma süreci

6.6.3. Verinin İletilmesi

Anlaşma süreci tamamlandıktan ve YD'lerin yol tabloları oluşturulduktan sonra verinin iletilmesine başlanır. KD almış olduğu bilgileri TD'ye ulaştırmak için iletme geçer. İletim sürecinde tüm YD'ler veriyi nereden alıp nereye göndermesi gerektiğine sahiptir. KD'nin bir mesaj paketini TD'ye gönderme sürecinin işleyişi şöyledir. KD algıladığı veriyi paket haline getirir. Veri paketinin yapısı Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



Şekil 6.26. İletişim veri paketi yapısı

Veri paketi içerisinde verinin mesaj başlığı ile gönderilecek veri bulunmaktadır. Mesaj başlığı verinin yönlendirilmesi için gerekli bilgileri içermektedir. İletişim, veri paketi oluştuktan sonra KD'nin veriyi göndermesi ile başlar. Veriyi alan YD gelen veri içerisinde öncelikle MT alanına bakar. Bu alan mesaj tipini belirtmekte ve bu değer iletim bilgisine değerine sahipse gelen veriyi ileteceğini anlar. Sonrasında HID değerine bakar eğer kendi yol tablosu içerisinde bu bilgi yoksa veriyi reddeder. Yol tablosu içerisinde AID yada GID alanlarından hangisinde bu bilgi olursa olsun veriyi kabul eder. Kabul edilen veri paketini eğer AID alanındaki düğümden aldıysa GID alanındaki düğüme, GID alanındaki düğümden aldıysa AID alanındaki düğüme göndereceğini bilir. Bu işlemi yaptıktan sonra veri mesaj başlığı içerisindeki HID ve KID alanlarını günceller ve veriyi yönlendirir. Veri gönderildikten sonra diğer düğümler veriyi kontrol eder ve hangi düğümün yol tablosunda veri başlığı içerisinde bulunan HID değeri varsa o YD veriyi kabul eder ve işlemleri tekrarlar. Böylece veri TD'ye ulaştırılır. Bu süreç TD içerisindeki tüm yol bilgileri için aynı şekilde işler.

Veri iletimini gerçekleştiren kod parçası Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

```
void ErhanQos::sendDataPacket(string adres){
    dataPacketSN++;
    ApplicationPacket *newPkt = createGenericDataPacket((double)self,
    dataPacketSN);
        newPkt->setName(DATA_PACKET_NAME);
    newPkt->setKaynak(selfs.c_str());
    newPkt->setSequenceNumber(dataPacketSN);
    newPkt->setTtl(HC);
    toNetworkLayer(newPkt,adres.c_str());
}
void ErhanQos::forwardPacket(ApplicationPacket *newPkt){
    newPkt->setKaynak(selfs.c_str());
    toNetworkLayer(newPkt,SendAdres.c_str());
}
```

Şekil 6.27. Veri iletimini gerçekleştiren kod

Önerilen iletim modelinde YD'ler herhangi bir yol bilgisi hesaplama yada veriyi nereye göndereceği ile ilgili karmaşık bir işlem yapmamaktadır. Sadece basit bir karşılaştırma ile yönlendirmesi gereken düğümü bulabilmektedir. Ayrıca iletişim veri paket içerisinde YB alanı bulunmamaktadır. Bunun nedeni ise İSTEK mesajı gönderim aşamasında yol bilgilerinin kullanılması ve diğer süreçlerde bu bilgiye ihtiyaç duyulmamasıdır. Yani önerilen modelde az işlem yükü ve veri miktarında az veri kullanımı sağlanmaktadır. Bunun genel sistemin servis kalitesi açısından faydaları bulunmaktadır.

YD'lerin işlem yükünü azaltmak en çok enerji tüketen birimi olan işlem biriminin az çalışmasına neden olur. Buda düğümün yaşam ömrünü uzatmaktadır. Düğüm yaşam ömrü de toplam ağ ömrünü etkilemektedir. Böylece servis kalitesi açısından yaşam ömrü üzerine olumlu etki göstermiştir.

Veri mesajı içerisindeki YB kullanılmaması veri boyutunu azaltmaktadır. Sınırlı bant genişliği kullanımına sahip olan KAA' larda veri boyutundaki azlık doğrudan ağı bant genişliğinin etkilemesine neden olmaktadır. Düşük veri boyutu, yüksek veri boyutuna göre bant genişliği üzerinden daha hızlı iletebilmektedir. Böylece bant genişliğinin etkin kullanımı ve verinin hızlı gitmesi sağlanır. Servis kalitesi kavramları içerisinde bulunan hızlı veri iletimi ve etkin bant genişliği kullanımı böylece sağlanmıştır.

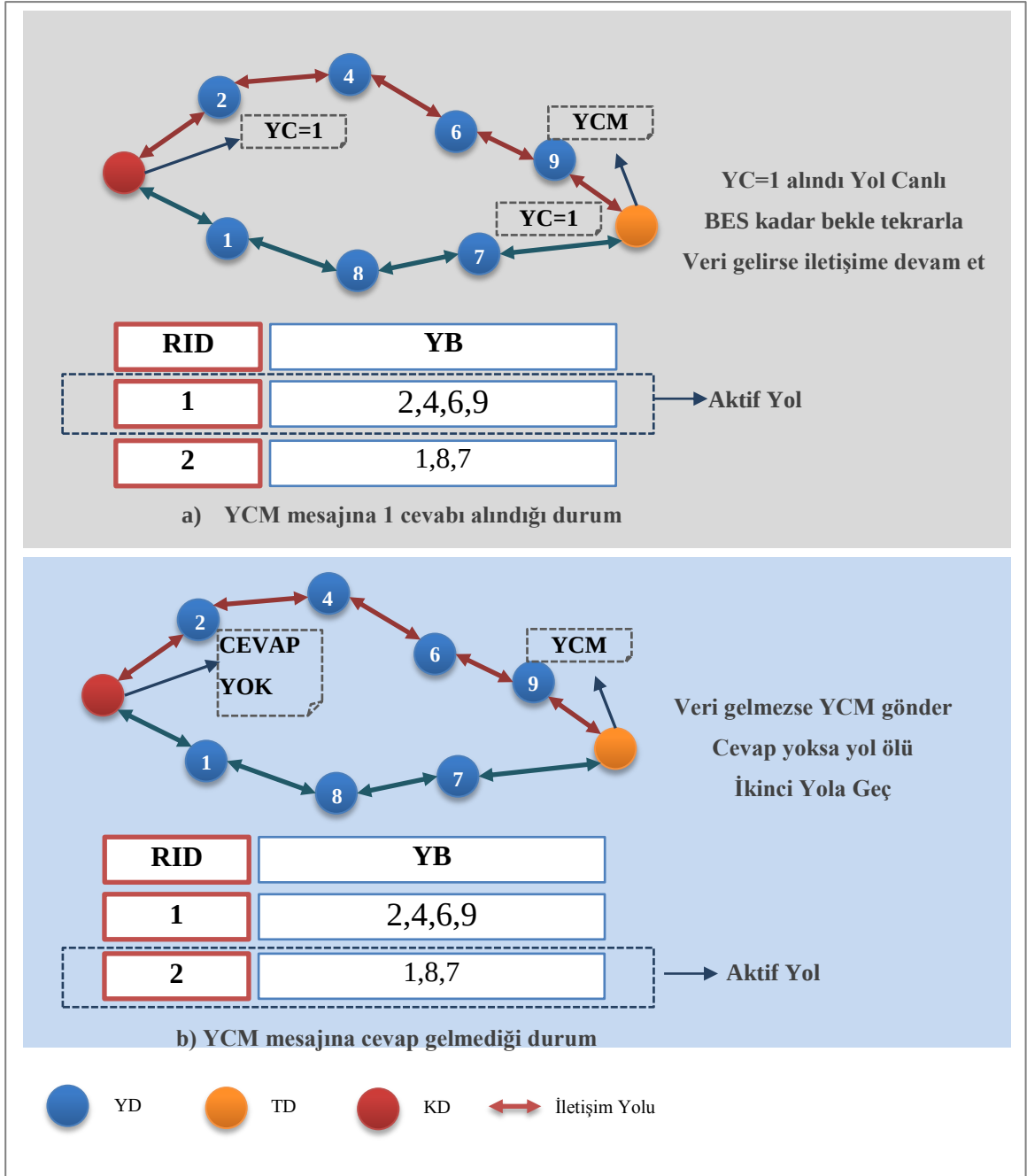
Önerilen model ile genel sistem yapısı içerisindeki süreçler adım adım işlenerek veri iletimi sağlanmış olmaktadır. Veri iletim sürecinde yolun kullanımının kontrol edilmesi gereklidir.

6.6.4. Yol Kullanım Sürecinin Kontrolü

Yol kullanım sürecinin kontrolü veri iletim sürecinin son aşamasıdır. Bu aşamada TD'de bulunan YT içerisindeki yolların kullanım süreçleri kontrol edilerek bir sonraki yola geçilmesine nasıl karar verildiği açıklanacaktır.

KD ile TD arasındaki iletişim TD içerisindeki yönlendirme tablosunda bulunan ilk yola göre yapılmaya başlar. Fakat bu yolun belirli bir yaşam süresi vardır. İletişim bu yaşam süreci boyunca devam eder. Yolun yaşam süresi sona erdiğinde bu yol artık kullanılamaz duruma gelir ve bundan sonra yönlendirme tablosu içerisindeki ikinci yola geçilmesi gereklidir. Bu nedenle yolun aktif olup olmadığı süreç içerisinde kontrol edilmek zorundadır. Bunun için TD yol aktifliği ile süreci kontrol etmektedir.

KD'den çıkan veri sürekli olarak TD tarafından toplanıp uygulama tarafındaki veri tablolarına kaydedilmektedir. Dolayısıyla verinin ulaşp ulaşmadığını TD yönlendirme



Şekil 6.29. Örnek yol kullanım süreci kontrolü

Gerçekleştirilen bu sistem ile hem yönlendirme tablosu içerisindeki yollar arasındaki geçiş süreci çalıştırılır hem de KD'nin veri göndermemesi durumu dikkate alınmış olur. Sistemin amacı KD ile TD arasında hızlı ve etkin iletişim olmasından bu kontrol süreçlerinin yapılması önemlidir.

6.7. Uygulama ve Yönetim Süreci

Uygulama ve yönetim süreci modelde anlatılan tüm süreçlerle ilgili başlangıç parametrelerinin tanımlandığı ve uygulama katmanındaki gerekli ayarlamaların yapıldığı aşamadır. Bu aşamada;

- Yönlendirme modelinin çalışacağı ortam şartları
- Kaynağın algılayacağı veri tipi (nem, sıcaklık, basınç gibi.)
- Çalışma süreleri
- Ağ içerisindeki düğüm sayıları
- KD ve TD bilgileri
- Ağ dağılım tipi
- İletim ortamında algılanacak veri tipi
- Veri boyutu
- Düğümlerin başlangıç enerjileri
- Ağın bant genişliği

gibi kavramlar tanımlanır. Ayrıca önerilen model içerisinde kullanılacak tanımlamalarda bu süreçte tanımlanır. Bunlar;

- Mesaj tipleri
- Veri tipleri
- Mesajlardaki alanlar
- Sistemde kullanılan değişkenler
- Çeşitli değişkenlerin içinde kullanılan sabit değerler

'in ne anlama geldiği ve sistemin bunları nasıl tanıyacağı gibi kavramlardır. Tanımlanan bu parametrelere göre genel sistem çalışması sağlanır. Başlangıçta belirlenen ağ parametreleri tanımlandıktan sonra ağın çalışma süreci başlar. Ağ parametreleri değiştirilerek sistemin başarımlı sonuçları gözlemlenebilir. Başlangıçta tanımlanması ve diğer süreçlerin bu tanımlamalara göre çalışmasından dolayı farklı ağ tanımlamaları yapılabilmektedir. Önerilen modelin modüler olması bunu mümkün kılar.

Uygulama ortamında birçok çalışma süreci tanımlanabilir. Önerdiğimiz model verilerin yönlendirilmesiyle ilgili bir süreci tanımlar. Bu nedenle uygulama aşamasında tanımlanacak herhangi bir ortam içerisinde yönlendirme işlemi için önerilen model kullanılabilmektedir. Bölüm 5'de açıklanan benzetim ortamındaki katmanlı yapı kullanımı yönlendirme modelinin sisteme tanıtılmasına olanak tanımaktadır. KAA'lar üzerine

yapılacak başka çalışmalarda (örneğin MAC katmanı, güvenlik, enerji gibi) yönlendirme aşamasında bu modeli kullanabilmektedir.

Başlangıç parametrelerinin belirlendiği kod parçası Şekil 6.30'da gösterilmiştir.

```
[General]
include ../Parameters/Castalia.ini
sim-time-limit = 10000s
include ../Parameters/SensorDevice/Accelerometer.ini
SN.numNodes = 10
SN.physicalProcessName = "CarsPhysicalProcess"
SN.physicalProcess[*].car_interarrival = 5
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile =
"../Parameters/Radio/CC2420.txt"
SN.node[*].ApplicationName = "ErhanQos"
SN.node[0].Application.isSink = true
SN.node[*].Application.reportTreshold = 10
SN.node[*].Application.reportDestination = "SINK"
SN.node[*].Application.TTL = 30
SN.node[*].Communication.RoutingProtocolName = "BypassRouting"
SN.node[*].Application.collectTraceInfo = true
SN.node[*].Communication.Radio.TxOutputPower = "-3dBm"
[Config d10]
SN.field_x = 20
SN.field_y = 180
SN.numNodes = 10
SN.node[0].Application.isSink = true
SN.node[1..8].Application.isYD = true
SN.node[9].Application.isKD = true
SN.node[9].Application.KDBeklemeSuresi = 20
SN.node[0].Application.isTD = true
SN.node[0].Application.TDYolBilgisiBeklemeSuresi = 10
SN.node[0].Application.TDBeklemeSuresi = 10
```

Şekil 6.30. Başlangıç tanımlamalarının yapıldığı kod parçası

Çalışmamızda ağ ile ilgili parametreler ve uygulama ortamı bu aşamada tanıtılarak bundan sonraki bölümde açıklanacak olan benzetim sonuçları ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu süreçte parametreler değiştirilerek, bu değişimleri sistemin çalışması açısından ne gibi etkiler gösterdiği ortaya konmuştur. Yapısal olarak modelde böyle bir yapılanma süreci, belirtilen farklı ölçümlerin yapılabilmesini sağlamıştır.

6.8. Sonuç

Bu bölümde kablosuz algılayıcı ağlarda servis kalitesi ve doğru veri iletimi için bir çoklu yönlendirme algoritması modeli tanıtılmıştır. Önerilen model ile başlangıçtan sonuna kadar bir iletim sürecinin nasıl oluştuğu ve gerçekleştirildiği aşama aşama gösterilmiştir. Sistem için önerilen 4 ana süreç içerisinde farklı algoritmalar tanımlanarak bütün model oluşturulmuştur. Her aşama kendi içerisinde servis kalitesine farklı etkiler göstermektedir.

Bölüm 7’de bu tez çalışmasında geliştirilen mimarinin testleri hem deneysel ortamda hem de benzetim ortamında sunulacaktır.

7. UYGULAMALAR

7.1. Giriş

Bu bölümde doktora tez çalışmasında kablosuz algılayıcı ağlarda doğru veri iletimi ve servis kalitesi için çoklu yönlendirme algoritması geliştirme amacı ile önerilen algoritma tasarımı hem benzetim hem de deneysel ortamda test edilecektir. Test için Bölüm 5’de ayrıntıları verilen Castalia benzetim ortamı ve Jennic deney seti kullanılacaktır.

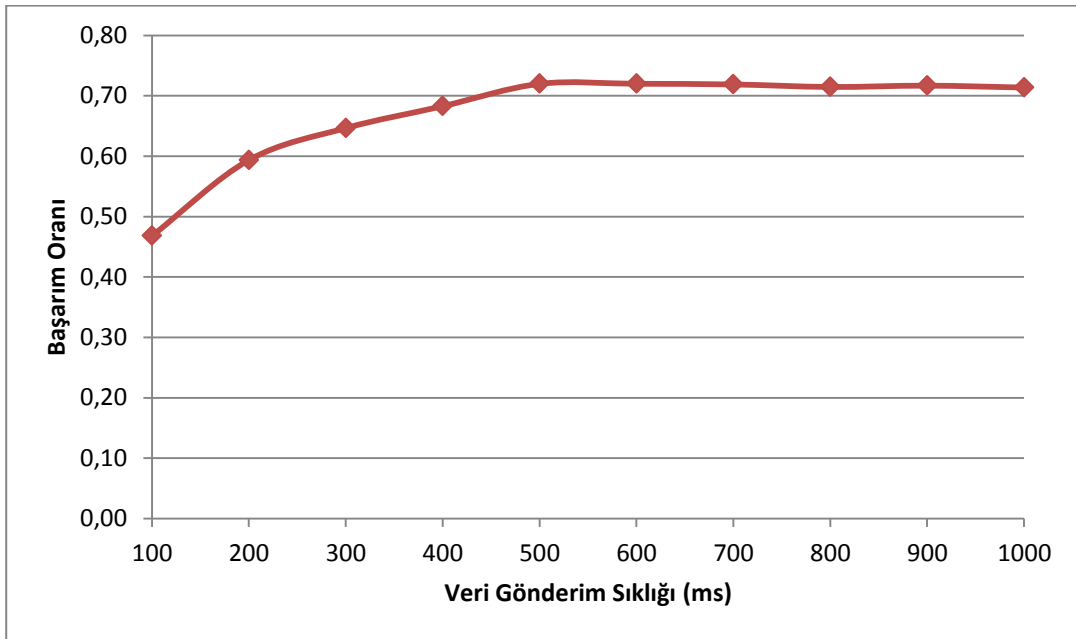
Deney ortamının gerçekçi olabilmesi için deneye bölüm 6.6’da anlatılan veri iletim sürecinden başlanmıştır. Bu sürece gelinceye kadar ağ tanıma sürecinin tamamlandığı ve ayrık yol bulma sürecinden sonra KD ve TD dahil 10 adet düğümden oluşan bir ayrık yolun seçildiği kabul edilmiştir. 10 adet düğümünden oluşacak bir yol gerçekçi bir uygulama olup böyle bir yolun oluşabilmesi için ortalama 500 adet algılayıcı bir sistem olması gerekmektedir. Dolayısı ile gerçek bir kablosuz algılayıcı ağın laboratuvar ortamında oluşturulduğu anlamına gelmektedir.

7.2. Veri Gönderim Sıklığının Servis Kalitesine Etkisi

Kablosuz algılayıcı ağlarda servis kalitesini etkileyen faktörlerden bir tanesi kaynak düğümden elde edilen verilerin toplayıcı düğüme gönderim sıklığıdır. Bu amaçla KD ile TD arasında 8 adet yönlendirici düğüme sahip bir yolun bulunduğu sistem örnek alınmıştır. Sonuçlar Castalia benzetim ortamında elde edilmiştir. Benzetim süresi 10.000 ms alınmıştır. Benzetim süresinde değişik veri gönderim sıklıklarında elde edilen değerler Tablo 7.1’de gösterilmiş ve verilen değerler grafik ortamına aktarıldığında Şekil 7.1 elde edilmektedir.

Tablo 7.1. Farklı veri gönderim sıklığına göre başarı oranları

Veri Gönderme Sıklığı (ms)	Toplam Gönderilen Veri	Başarılı Alınan Veri	Başarı Oranı
100	99742	46687	0,47
200	49871	29598	0,59
300	33247	21494	0,65
400	24935	17023	0,68
500	19948	14357	0,72
600	16623	11966	0,72
700	14248	10241	0,72
800	12467	8909	0,71
900	11082	7943	0,72
1000	9974	7118	0,71



Şekil 7.1. Veri gönderim sıklığına göre başarılı veri gönderim oranları

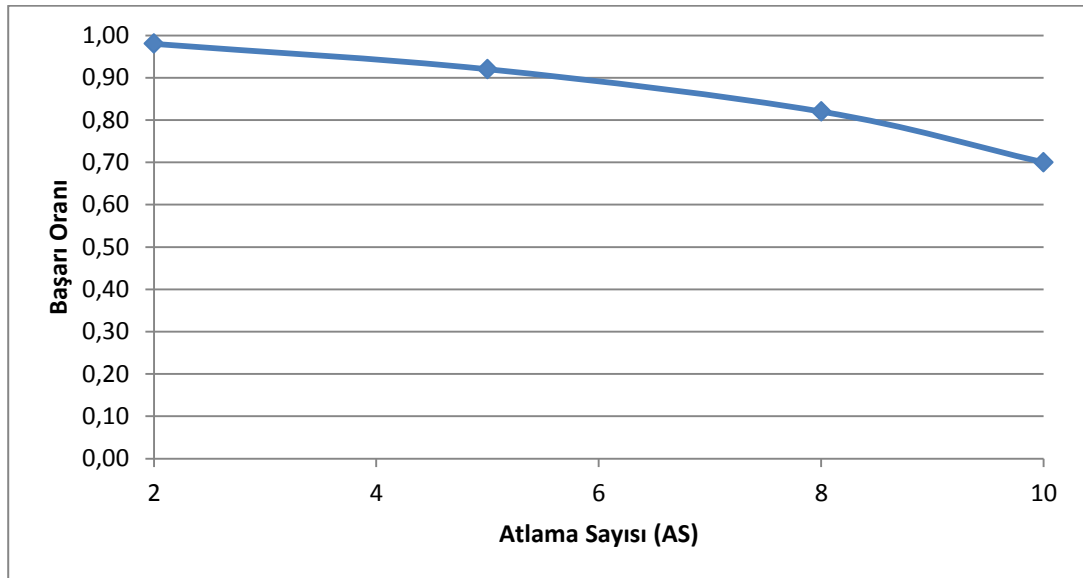
Şekil 7.1'den açıkça görüldüğü gibi gönderim sıklığı arttıkça sınırlı kapasiteye sahip algılayıcılarda veri kayıpları oluşmaktadır. Seçilen örnek yapıda veri gönderim hızı 100 ms'lere çıktığında başarı oranı %40'lara kadar düşmektedir. Veri gönderim hızı düştüğünde başarı oranı sabitlenmektedir.

7.3. Atlama Sayısının Servis Kalitesine Etkisi

Algılayıcı ağlarda servis kalitesi üzerinde etkili bir başka faktör de seçilen ayrık yol üzerinde verinin üzerinden iletileceği toplam düğüm sayısı (atlama sayısı) 'dır. İletişim yolunda bulunan düğüm sayısının servis kalitesine etkisi hem deney seti üzerinde hem de Castalia benzetim ortamında test edilmiştir. Deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilen 2, 5, 8 ve 10 atlamalı yolu için elde edilen başarı oranları Tablo 7.2'de grafiği Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Değişik Atlama sayılarına göre deneysel sonuçlar

Atlama Sayısı	Toplam Gönderilen Veri (Paket)	Başarılı Alınan Veri (Paket)	Başarı Oranı
2	12496	12246	0,98
5	12475	11477	0,92
8	12465	10221	0,82
10	12462	8723	0,70

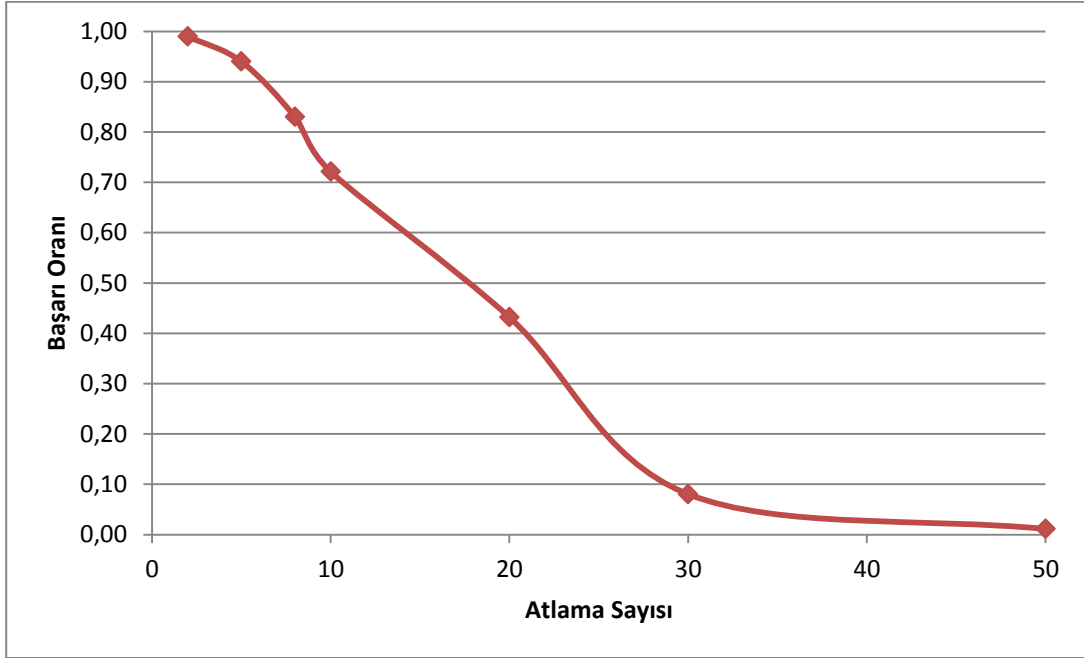


Şekil 7.2. Atlama sayılarına göre başarı oranları: Deneysel Sonuç

Deney düzeneğinde test edilen atlama sayıları dahil, benzetim ortamında atlama sayıları 50'ye kadar çıkartılarak iletişim yolundaki atlama sayısının başarı oranına dolayısı ile servis kalitesine etkisi gözlenmiştir. Benzetim ortamında çalışma süresi 10.000 ms, veri gönderim sıklığı 800 ms alınmıştır. Aynı süreler deney düzeneğinde de kullanılmıştır. Benzetim sonuçları Tablo 7.3'de grafiği ise Şekil 7.3'de gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Değişik atlama sayılarına göre benzetim sonuçları

Adım Sayısı	Toplam Veri (Paket)	Başarılı Veri (Paket)	Başarı Oranı
2	12498	12373	0,99
5	12481	11732	0,94
8	12472	10352	0,83
10	12460	8986	0,72
20	12402	5358	0,43
30	12309	990	0,08
50	12274	137	0,01



Şekil 7.3. Atlama sayılarına göre başarı oranları: Benzetim sonuçları

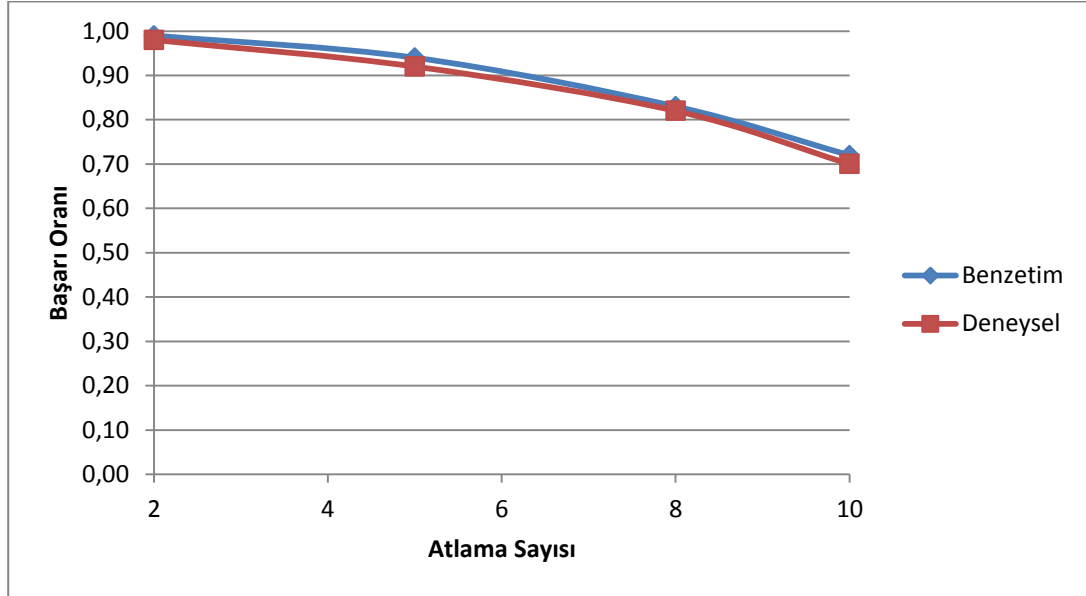
Hem deneysel sonuç hem de benzetim sonuçlarından açıkça görüldüğü gibi kablosuz duyurga ağıın servis kalitesi iletişim yolundaki duyurga sayısına doğrudan bağlıdır. Atlama sayısı arttıkça servis kalitesi üstel olarak azalmaktadır. Doktora tez çalışmasında minimum sayıda atlama sayısı içeren ayrık yolların bulunması mekanizmalarının kullanılmasının gerekçesine bu sonuçlar en önemli delil teşkil etmektedir.

7.4. Deneysel Ortam ile Benzetim Ortamının Karşılaştırılması

Bu bölümde Tablo 7.2 ve Tablo 7.3’de verilen veriler kullanılarak deneysel ortam ile benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma tablosu Tablo 7.4’de, grafiği ise Şekil 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4. Karşılaştırma tablosu

Atlama Sayısı (AS)	Benzetim Başarı Oranı	Deneysel Başarı Oranı
2	0,99	0,98
5	0,94	0,92
8	0,83	0,82
10	0,72	0,70



Şekil 7.4. Deneysel ortam ile benzetimin karşılaştırma grafiği

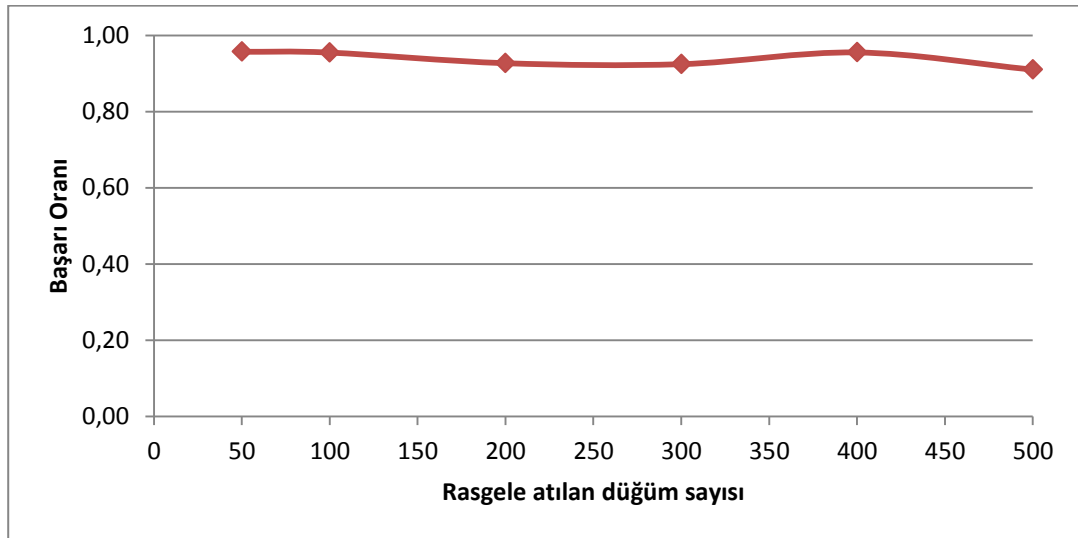
Tablo 7.4 ve Şekil 7.4’den açıkça görüldüğü gibi deneysel sonuçlar ile benzetim sonuçları tutarlılık içindedir. Bu da yapılan geliştirmenin doğru ve benzetim sonuçlarının da gerçek sistemin sonuçlarına yakın sonuçlar verdiğini ispatlamaktadır.

7.5. Sistemdeki Algılayıcı Sayısının Servis Kalitesi Üzerine Etkisi

KAA’larda belirlenen alan içerisine yerleştirilecek algılayıcı sayısı servis kalitesini etkileyen bir diğer faktördür. Alan içerisinde düğüm yoğunluğunun yüksek olması ve bu düğümlerden KD ile TD arasında bir yolun belirlenmesinde düğümlerin rasgele yerleştirilmesi elde edilecek ayrık yol üzerindeki atlama sayısını etkilemektedir. Böylece düşük atlama sayısına sahip yollar elde edilmesi veri iletimindeki kaliteyi yüksek oranlarda tutabilmektedir. Bu bölümde doktora çalışmasında geliştirilen algoritmanın başarı oranı sınanacaktır. Benzetim ortamında 500m x 500m’lik bir alana değişik algılayıcı sayıları için benzetim 10.000 sn süreyle koşturulmuştur. Veri gönderim sıklığı olarak 800 ms alınmıştır. Düğümler rastgele yerleştirildikleri için benzetim bağımsız olarak 3 kez koşturulmuş ve çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Kullanılan düğüm sayıları ve elde edilen başarı oranları Tablo 7.5’de düğüm sayının başarı oranına göre grafiksel gösterimi ise Şekil 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5. Algılayıcı sayılarına göre başarı oranları (Rastgele Dağılım)

Düğüm Sayısı	Toplam Gönderilen Veri (Paket)	Başarılı Alınan Veri (Paket)	Başarı Oranı
50	12479	11941	0,96
100	12469	11905	0,95
200	12478	11566	0,93
300	12478	11534	0,92
400	12478	11918	0,96
500	12478	11355	0,91



Şekil 7.5. Algılayıcı sayılarına göre başarı oranları (Rastgele Dağılım)

Tablo 7.5 ve Şekil 7.5’den açıkça görüldüğü gibi bu doktora çalışmasında geliştirilen algoritma gerçekçi ortamda düğüm sayısından bağımsız olarak %90’ın üzerinde başarıyı garanti etmektedir. Bu oran algorithmada kullanılan en etkin ayırık yol bulma algoritmasının başarısından gelmektedir. Sonuç olarak çalışmada geliştirilen kablosuz algılayıcı ağlarda doğru veri iletimi ve servis kalitesi için çoklu yönlendirme algoritmasının doğruluğu ve başarısı test edilmiş olmaktadır.

8. DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALARI

KAA'lar birçok algılayıcının bir araya gelmesiyle oluşan ve çeşitli zor görevleri yerine getirebilen bir topolojidir. Özellikle askeri alanlarda; zorlu coğrafi bölgelerde ve veri gizliliğinin gerekli olduğu durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca Bölüm 3.5'de belirtilen farklı birçok kullanım alanı da vardır.

Ancak KAA'lar bu özelliklerinin yanında donanımsal ve tasarımsal kısıtlamalara sahiptir. Tasarlanacak ağ ortamına ve kullanılacak algoritma ve protokollerin belirlenmesinde bu kısıtlamaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. KAA'ların mevcut en önemli sorunları Bölüm 3.6'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu sorunlar içerisinde servis kalitesi sorunu en önemli sorunlardan biridir.

Bu doktora tez çalışmasında belirtilen servis kalitesi kavramlarını göz önünde bulunduran çoklu yönlendirme algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritma içerisinde 4 farklı ana süreç bulunmaktadır. Bunlar ATS, ÇYBS, VİS ve uygulama ve yönetim sürecidir. Ayrıca her süreçte kendi içerisinde alt süreçler barındırmaktadır. ATS yolların yayın mesajı ile belirlendiği, ÇYBS, ATS'den elde edilen yollar içerisinde en iyi yolların ayrı olarak bulunduğu, VİS verinin iletildiği, uygulama ve yönetim süreci ise sistemle ilgili konfigürasyonun yapıldığı aşamadır.

Önerilen algoritmanın Jennic deney seti ile oluşturulan deney düzeneği ve Castalia benzetim ortamında çalışması test edilmiştir. Gerçekleştirilen model deney düzeneğinde test edildiğinde başarı oranları ölçülmüştür. Başarı oranı olarak verinin doğru ve tam iletilip iletilmediğini test etmektedir. Hedefe ulaşan verinin kaynaktan çıkan veriye oranı bu değeri vermektedir. Sonrasında aynı ağ ortamı benzetim ortamında da oluşturulmuş ve aynı değerler ölçülmüştür. Elde edilen başarı oranları karşılaştırılarak sistemin doğru sonuçlar verdiği ispatlanmıştır. Deneysel ortamdan elde edilen verilerin benzetimle örtüştüğü görülerek, yüksek sayıdaki algılayıcı bulunan örnekler için benzetim ortamında çalıştırılmıştır. Ortama rastgele yerleştirilen farklı algılayıcı sayılarında ağın başarı oranı olarak %90'un üzerinde bir değer elde ettiği görülmüştür. Bunun nedeni ise önerilen algoritma içerisindeki süreçlerin yol bulmada etkin olduğu, verinin iletilmesindeki düşük işlem yükleri bant genişliğini etkin kullanarak kayıpların azalmasını ve böylece yüksek bir başarı oranı elde etmesini sağlamıştır.

Bu tez çalışması sabit bir kaynak ve bir toplayıcı düğümün bulunduğu bir KAA ortamı için servis kalitesini dikkate alan çoklu yönlendirme algoritması mekanizmaları içermektedir. Bu doktora tezi üzerine gelecek çalışması olarak;

- Birden fazla kaynak veya toplayıcı düğümün aynı KAA ortamında bulunduğu durumların servis kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilebilir.
- Ortamda bir toplayıcı düğüm ve birden fazla kaynak düğümün olması durumundaki yapılar üzerine çalışılabilir.
- Servis kalitesi üzerine önerdiğimiz algoritma ile beraber MAC katmanında yapılabilecek farklı mekanizmalar ile çalışmamızın kapsamadığı servis kalitesi ölçütleri de elde edilebilir

KAYNAKLAR

- [1] **Çakıroğlu, M.**, 2008. Kablosuz algılayıcı ağlar için dinamik kanal atlamalı güvenlik sistemi tasarımı, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] **Bandırmalı, N.**, 2010. Yeni bir kablosuz algılayıcı ağ veri bağı katmanı güvenlik protokolü tasarımı, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [3] **Küçük, K.**, 2010. Akıllı anten sistemi kullanan kablosuz algılayıcı ağlarda bağlantı analizi ve konum belirleme algoritması, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [4] **Özsoyeller, D.**, 2008. Telsiz duyurga ağlarında etkin kod yayılımı. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [5] **Şanlı, Ö.**, 2011. Olay güdümlü uygulamalar için kablosuz duyurga ağlarında kural tabanlı ağ içi veri işleme, *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] **Çekli, S.**, 2009. Telsiz algılayıcı ağlar ile genişbant kaynak konum kestirimi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E.**, 2002. Wireless Sensor Networks: A Survey, *Computer Networks*, **38**, 393-422.
- [8] **Arampatzis, T., Lygeros, J., and Manesis, S.**, 2005. A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks, *Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation*, Limasol, Cyprus, 719-723.
- [9] **Al-Karaki, J. N. and Kamal, A. E.**, 2004. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey, *IEEE Wireless Communications*, **11**(6), 6-28.
- [10] **Özdemir, S.**, 2009. "Heterojen Kablosuz Algılayıcı Ağ Temelli Sınır İzleme Sistemlerinde Gizli Veri Kümeleme," *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **25**(1), 131-139.
- [11] **Ayday, C.**, 2010. Kablosuz Algılama Ağları ile Orman Yangınları Erken Uyarı Sistemi Kurma, Anadolu Üniversitesi, Ankara.
- [12] **Minami, M., Morito, T., Morikawa, H., and Aoyama, T.**, 2005. Solar Biscuit: A Battery-less Wireless Sensor Network System for Environmental Monitoring Applications, *2nd International Workshop on Networked Sensing Systems*.
- [13] **Ferreira, A., Goldman, A., and Monteiro, J.**, 2010. Performance evaluation of routing protocols for MANETs with known connectivity patterns using evolving graphs, *Wireless Networks*, **16**(3), 627-640.
- [14] **Gurses, E. and Akan, O. B.**, 2005. Multimedia Communication in Wireless

- Sensor Networks, *Annals of Telecommunications*, **60**(7-8), 799-827.
- [15] **Ganz, A., Ganz, Z., and Wongthavarawat, K.**, 2004. Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards and QoS, New Jersey, Upple Saddle River.
 - [16] **Tran, S. P. and Yang, T. A.**, 2006. Evaluations of target tracking in wireless sensor networks, *37th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 97-101.
 - [17] **Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., and Anderson, J.**, 2002. "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in *First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, 88-97.
 - [18] **Wang, Z. and Crowcraft, J.**, 1996. QoS-based Routing for Supporting Resource Reservation, *IEEE Journal on Selected Area of Communications*, **14**, 1228-1234.
 - [19] **Chen, D. and Varshney, P. K.**, 2004. QoS Support In Wireless Sensor Networks: A Survey, *International Conference on Wireless Networks (ICWN 2004)*, Las Vegas, Nevada.
 - [20] **Akkaya, K. and Younis, M.**, 2003. An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, *23rd IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks*, Rhode Island, USA., 710-715.
 - [21] **Chen, J.**, 1999. New Approaches to Routing for Large-Scale Data Networks. *PhD Thesis*, Rice University ,
 - [22] **Sohrabi, K., Gao, J., Ailawadhi, V., and Pottie, G. J.**, 2000. Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network, *IEEE Personal Communications*, **7**(5), 16-27.
 - [23] **He, T., Stankovic, J. A., Lu, C., and Abdelzaher, T.**, 2003. SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks, *23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, 46.
 - [24] **Dubendorf, V. A.**, 2003. Wireless Data Technologies, John Wiley & Sons Ltd., England.
 - [25] **Kaplan, Y.**, 2000. Veri Haberleşmesi Kavramları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
 - [26] **Çibuk, M.**, 2008. WIMAX/IEEE 802.16 Ağları Üzerinden Web Tabanlı Bio Telemetry Uygulamaları için Protokol Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
 - [27] <http://www.ieee802.org/15/> IEEE 802.15 Çalışma Grubu. 14.12.2012
 - [28] **Özdemir, M.**, 2003. Wireless LAN Technology & Security Update, Cisco Systems Inc., A.B.D.
 - [29] **Minoli, D.**, 2003. Wireless Technologies: WPAN, WLAN, and WWAN, Second Edition, Artech House, *Telecommunications Technology Handbook*, **8**, 245-335.

- [30] **Derin, H. ve Aşkar, M.**, 1979. İletişim Kuramı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- [31] **Öztürk, E.**, 2004. Wlan Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks) Teknolojisinin İncelenmesi, Mevcut Düzenlemelerin Değerlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Düzenleme Önerisi, *Uzmanlık Tezi*, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara.
- [32] **British Telecom**, 1978. A Standard Code for Radiopaging Report of the Post Office Code Standardization Advisory Group (POCSAG).
- [33] **Dowla, F.**, 2004. Handbook of RF and Wireless Technologies, Elsevier Inc., USA.
- [34] <http://www.bluetooth.com> The Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth. 10.02.2011.
- [35] <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html> IEEE Standards Association. 09.07.2011.
- [36] **Çağiltay, K.**, 1997. İnternet, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [37] <http://www.irda.org> Infrared Data Association. IRDA. 10.03.2011.
- [38] <http://www.palowireless.com/homerf/homerf1.asp> H. W. Grup. 08.04.2011.
- [39] **Bluetooth SIG**, 2007. *Bluetooth Specification Version 2.1 + Enhanced Data Rate (EDR)*.
- [40] <http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial.asp> B. R. C. Palowireless. 19.05.2011
- [41] <http://www.ieee802.org/11/> IEEE 802.11 Çalışma Grubu Resmi Web Sitesi. 15.03.2010
- [42] <http://en.wikipedia.org/wiki/HIPERLAN> Wikipedia. 10.05.2010
- [43] <http://www.zigbee.org/About/FAQ/tabid/192/Default.aspx> ZigBee Alliance Resmi Web Sitesi. 03.02.2010
- [44] **Craig, W. C.**, Zigbee:Wireless Control That Simply Works, White Paper.
- [45] **Chong, C. Y.**, 2003. Sensor Networks: Evolution Opportunities and Challenges, *IEEE*, 1247-1256.
- [46] **Klinger, D. W., Andriole, S. J., Militello L. G., Adelman L., Klein, G. and Gomez, M. E.**, 1993. Designing for performance: A cognitive systems engineering approach to modifying an AWACS human computer interface, *Armstrong Laboratory, AL/CF-TR-1993-0093*, Wright Patterson AFB, OH.
- [47] **Yang, Y., Prasanna, V. K., and Krishnamachari, B.**, 2006. Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks, World Scientific Publishing Co., USA.
- [48] **Hande, A., Polk, T., Walker, W., and Bhatia, D.**, 2006. Self-Powered Wireless Sensor Networks for Remote Patient Monitoring in Hospitals, *Molecular*

Diversity Preservation International, Switzerland, 6-12.

- [49] **Kahn, J., Katz, R., and Pister, K. J.**, 1999. Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust, *MOBI-COM '99*, Seattle, WA.
- [50] **Reilly, O. and Lynch, C.**, 2005. Processor choice for wireless sensor networks, *REALWSN'05: Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks*, June, 1-5.
- [51] **Polastre, J., Szewczyk, R., and Culler, D.**, 2005. Telos Enabling Ultra-Low Power Research, *IPSN '05 Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in Sensor Networks*, USA.
- [52] **Srivastava, M. B., Muntz, R., and Potkonjak, M.**, 2001. Smart Kindergarten: Sensor-based Wireless Networks for Smart Developmental Problem-solving Environments, *ACM SIGMOBILE 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Italy.
- [53] **Otis, B. P., Chee, Y. H., Lu, R., Pletcher, N. M., and Rabaey, J. M.**, 2004. An ultra-low power memsbased two-channel transceiver for wireless sensor networks, *Proc. of Symposium on VLSI Circuits*, Honolulu, HI, 20–23.
- [54] **Xia, F.**, 2009. Wireless Sensor Technologies and Applications, *Molecular Diversity Preservation International*, Switzerland.
- [55] **Lee, D.**, 2008. Energy Harvesting Chip and the Chip Based Power Supply Development for a Wireless Sensor Network, *Molecular Diversity Preservation International*, Switzerland.
- [56] **Küçük, G. and Başaran, C.**, 2006. Power-Aware Processors for Wireless Sensor Networks, *21st International Symposium on Computer Sciences*, İstanbul.
- [57] **Rizvii S. S. and Chung, T. S.**, 2009. PIYAS-Proceeding to Intelligent Service Oriented Memory Allocation for Flash Based Data Centric Sensor Devices in Wireless Sensor Networks, *Molecular Diversity Preservation International*, Switzerland.
- [58] **Tayşi, Z. C.**, 2006. Telsiz Algılayıcı Düğüm Tasarımı ve Gerçeklenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] **Karl, H. and Willig, A.**, 2005. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons Ltd., Sussex UK.
- [60] **Lee, B. H., Lai, R. L., Wu, H. K., and Wong, C. M.**, 2010. Study on Additional Carrier Sensing for IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks, *Molecular Diversity Preservation International*, Switzerland.
- [61] **Rabaey, J., Ammer, J., Patel, D.**, 2000. Pico-Radio: ad-hoc wireless networking of ubiquitous lowenergy sensor/monitor nodes, *IEEE Computer Society Annual Workshop on VLSI (WVLSI'00)*, Orlanda, Florida, April, 9–12.
- [62] **Rabaey, J. M., Ammer, M. J., da Silva Jr, J. L., Patel, D., and Roundy, S.**, 2000. PicoRadio supports ad hoc ultra-low powerwireless networking, *IEEE Computer Magazine*, 42-48.
- [63] **Mohammad, M. and Imad, I.**, 2005. Handbook of Sensor Networks: compact

wireless and wired sensing systems, CRC Press, London.

- [64] **Bulusu, N., Heidemann, J., and Estrin, D.**, 2000. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices, Computer Science Department, *Technical report*, **00-729**, University of Southern California.
- [65] **Savvides, A., Han, C., and Srivastava, M.**, 2001. Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors, *7th ACM Annu. Int. Conf. Mobile Computing Networking MobiCom*, July, 166-179.
- [66] **Karaboğa, D. ve Ökdem, S.**, 2006. "Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Güvenli İletişim Teknikleri, *Ulusal Elektronik İmza Sempozyumu*, Aralık, Ankara.
- [67] **Lindsey, S. and Raghavendra, C. S.**, 2002. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems, *IEEE Aerospace Conf.*, Montana, March, 1125-1130.
- [68] **Sha, K. and Shi, W.**, 2004. Modeling the Lifetime of Wireless Sensor Networks, *Technical Report*, **MIST-TR-2004-011**, Wayne State University.
- [69] **Hoblos, G., Staroswiecki, M., and Aitouche, A.**, 2000. Optimal design of fault tolerant sensor networks, *IEEE International Conference on Control Applications*, Anchorage, AK, 467–472.
- [70] **Nadig, D. and Iyengar, S. S.**, 1993. A new architecture for distributed sensor integration, *IEEE Southeastcon '93*, Charlotte, NC., April.
- [71] **Cho, S. and Chandrakasan, A.**, 2000. Energy-efficient protocols for low duty cycle wireless microsensor, *33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, 10.
- [72] **Cerpa, A., Elson, J., Hamilton, M., and Zhao, J.**, 2001. Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology, *ACM SIGCOMM'2000*, Costa Rica, April.
- [73] **Liu, X. and Mohapatra, P.**, 2007. On the Deployment of Wireless Data Back-haul Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **6**(4), 1426-1435.
- [74] **Rulikowski, P., Martinez, R., and Barrett, J.**, 2003. Sensor Network Hardware Infrastructure for Smart Spaces, *1st International Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services (MUCS)*, 79-88.
- [75] **Perrig, A., Szewczyk, R., Wen, V., Culler, D., and Tygar, J.**, 2002. SPINS: security protocols for sensor networks, *Wireless Networks*, **8**(5), 521-534.
- [76] **Shih, E., Cho, I. S., Min, R., Sinha, A., and Wang, A.**, 2001. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks, *ACM MobiCom '01*, 272-287.
- [77] **Yoneki, E. and Bacon, J.**, 2005. A survey of Wireless Sensor Network technologies: research trends and middleware's role, *University of Cambridge/Computer Laboratory Technical Report*, University of Cambridge, USA.

- [78] **Li, Y., My, T., and Wu, T.**, 2008. Wireless Sensor Networks and Applications, *Springer series on signals and communication technology*, 113-140.
- [79] **Khalil, Ö. A.**, 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Anahtar Dağıtım Yöntemleri için Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- [80] **Intanagonwiwat, C., Govindan, R., and Estrin, D.**, 2000. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, *ACM Mobi Com'00*.
- [81] **Gustafsson, E. and Karlsson, G.**, 1997. A literature survey on traffic dispersion, *IEEE*, **11**(2), 28-36.
- [82] **Lu, Y. M.**, 2005. Multipath Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks, *Phd Thesis*, The University of British Columbia, Columbia.
- [83] **Maxemchuk, N. F.**, 1975. Dispersity routing, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 10-13.
- [84] **Maxemchuk, N. F.**, 1993. Dispersity routing in high speed networks, *Computer Networks and ISDN Systems*, **25**(6), 645-661.
- [85] **Maxemchuk, N. F.**, 1993. Dispersity routing on ATM networks, *IEEE INFOCOM*, San Francisco, 347-57.
- [86] **Banerjea, A.**, 1997. On the Use of Dispersity Routing for Fault Tolerant Realtime Channels, *European Transactions on Telecommunications*, **8**(4), 393-407.
- [87] **Cidon, I., Rom, R., and Shavitt, Y.**, 1999. Analysis of multi-path routing, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, **7**(6), 885-896.
- [88] **Tsirigos, A. and Haas, Z. J.**, 2001. Multipath Routing in the Presence of Frequent Topological Changes, *IEEE Communication Magazine*, **39**(11), 132-138.
- [89] **Ganesan, D., Govindan, R., Shenker, S., and Estrin, D.**, 2001. Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks, *2nd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc)*, 251-254.
- [90] **De, S., Qiao, C., and Wu, H.**, 2003. Meshed Multipath Routing: An Efficient Strategy in Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, New Orleans, 1912-1917.
- [91] **Petcher, A.**, 2007. Networks, QoS in Wireless Data Networks.
http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wireless_qos/index.html
- [92] **Gallardo, J. R., Gonzalez, A., Villasenor-Gonzalez, L., and Sanchez, J.**, 2007. Multipath Routing Using Generalized Load Sharing For Wireless Sensor Networks, *7th IASTED Wireless and Optical Communications International Conferences (WOC)*, Montreal, 1-8.

- [93] **Pearlman, M. R., Haas, Z. J., Sholander, P., and Tabrizi, S. S.**, 2000. On the Impact of Alternate Path Routing for Load Balancing in Mobile Ad Hoc Networks, *1st IEEE/ACM Annual Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC)*, Boston, 3-10.
- [94] **Demetrios, Z.**, 2005. A Glance at Quality of Services, Mobile Ad-Hoc Networks.
- [95] **Lou, W.**, An Efficient N-to-1 Multipath Routing Protocol in Wireless Sensor Networks, *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, Washington, 8-18.
- [96] **Singh, S., Woo, M., and Raghavendra, C. S.**, 1998. Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks, *4th ACM/IEEE Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, 181-190.
- [97] **Lou, W., Liu, W., and Zhang, Y.**, 2005. Performance Optimization using Multipath Routing in Mobile Ad Hoc and Wireless Sensor Networks, *Combinatorial Optimization in Communication Networks*, Kluwer Academic Publisher.
- [98] **Lu, Y. M. and Wong, V. W. S.**, 2007. An energy-efficient multipath routing protocol for wireless sensor networks: research articles, *International Journal of Communication System*, **20**, 747-766.
- [99] **Dulmann, S., Nieberg, T., Wu, J., and Havinga, P.**, 2003. Trade-Off between Traffic Overhead and Reliability in Multipath Routing for Wireless Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, New Orleans, 1918-1922.
- [100] **Shah, R. C. and Rabaey, J. M.**, 2002. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 350-355.
- [101] **Willig, A., Shah, R., Rabaey, J., and Wolisz, A.**, 2002. Altruists in the PicoRadio Sensor Network, *4th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, 175-184.
- [102] **Crawley, E., Nair, R., Rajagopalan, B., and Sandick, H.**, 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2386.txt> . 18.09.2011
- [103] **Miras, D.**, 2002. A Survey of Network QoS Needs of Advanced Internet, Internet2 QoS Working Group.
- [104] **Lee, W. C., Hluchyj, M. G., and Humblet, P. A.**, 1995. Routing Subject to Quality of Service Constraints Integrated Communication Networks, *IEEE Network*, **9**, 46-55.
- [105] **Ma, Q. and Steenkiste, P.**, 1997. Quality-of-Service routing with Performance Guarantees, *5th IFIP Workshop on Quality of Service*, Atalanta, GA, 115-126.
- [106] **Zhang, L., Deering, S., Estrin, D., Shenker, S., and Zappala, D.**, 1993. RSVP: A New Resource ReSevation Protocol, *IEEE Network*, **7**, 8-18.
- [107] **Blair, G., Campbell, A. T., Coulson, G., and Hutchison, D.**, 1995. Quality of Service Management in Distributed Systems, *Network and Distributed*

- Systems Management*, Chapter 11, Addison Wesley, United States, 273-302.
- [108] **Keshav, S.**, 1991. Congestion Control in Computer Networks, *Phd Thesis*, University of California, Berkley.
 - [109] **Welzl, M.**, 2005. Network Congestion Control: managing internet traffic, Wiley, New Jersey, A.B.D.
 - [110] **Xiao, Y.**, 2004. IEEE 802.11e: A QoS provisioning at the MAC layer, *IEEE Wireless Commun.*, **11**, 72-79.
 - [111] **Meguerdichian, S., Koushanfar, Potkonjak, F., M., and Srivastava, M. B.**, 2001. Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks, *IEEE Infocom*, 1380-1387.
 - [112] **Iyer, R. and Kleinrock, L.**, 2003. QoS Control for Sensor Networks, *IEEE International Conference on Communication* , 517-521.
 - [113] **Zhou, J. and Mu, C.**, 2006. A Kind of Application-Specific QoS Control in Wireless Sensor Networks, *IEEE International Conference on Information Acquisition*, 456-461.
 - [114] **Pattem, S., Poduri, S., Krishnamachari, B.**, 2003. Energy-Quality Tradeoffs for Target Tracking in Wireless Sensor Networks, *2nd International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN03)*, Palo Alto, CA.
 - [115] **Ilyas, M. and Mahgoub, I.**, 2004. Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems, BocaRaton, FL.
 - [116] **Liu, J.**, 2001. Simulation modeling of large-scale ad-hoc sensor networks, *European Simulation Interoperability Workshop*, London, England.
 - [117] **Curren, D.**, 2005. A survey of simulation in sensor networks, *Project Report, CS580*, University of Binghamton, NY.
 - [118] **Mekni, M. and Moulin, B.**, 2008. A survey on sensor webs simulation tools, *2008 Second International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 574-579.
 - [119] **Sundani, H., Li, H., Devabhaktuni, V. K., Alam, M., and Bhattacharya, P.**, 2010. Wireless Sensor Network Simulators A Survey and Comparisons, *International Journal Of Computer Networks (IJCN)*, **2**, 249-265.
 - [120] <http://castalia.npc.nicta.com.au/pdfs/Castalia%20-%20User%20Manual.pdf>
Castalia, a simulator for wireless sensor networks and body area networks.
18.05.2011
 - [121] <http://castalia.npc.nicta.com.au/pdfs/> N. I. Australia. 04.04.2011
 - [122] **Zuniga, M. and Krishnamachari, B.**, 2004. Analyzing the transitional region in low power wireless links, *1st IEEE Comms. Soc. Intl. Conf. on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, Santa Clara, 517-526.
 - [123] **Stafford, K. M.**, 1995. Characterization of blue whale calls from the northeast

Pacific and development of a matched filter to locate blue whales on U.S. Navy SOSUS (Sound Surveillance System) arrays, Oregon State University, Corvallis.

ÖZGEÇMİŞ



Y k. M h. Erhan AKBAL

Fırat Üniversitesi Enformatik B l m , 23119, Elazı  / Türkiye

Gsm: (0533) 493 4603

E-posta: erhanakbal@firat.edu.tr, erhanakbal@gmail.com

Kişisel Bilgiler

Doğum Tarihi	23/07/1981
Yeri	ANKARA
Medeni Durumu	Evli, 1 �ocuk babası

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans Eğitimi	Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği A.B.D. Elazığ, 2005-2007
Lisans Eğitimi	Fırat Üniversitesi Müh. Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü Elazığ, 1999-2003
Lise Eğitimi	Yeşilköy 50. Yıl Lisesi, İstanbul, 1995-1998

İş Deneyimleri

2001-2002	Biltem Bilgisayar A.Ş., Elazığ
2002-2004	Fırat Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Yazılım (ARGE)
2004-Halen	Fırat Üniversitesi Enformatik Bölümü, Elazığ, Okutman