



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

**KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN YAZILIM TANIMLI
AĞ DESTEKLİ YENİ BİR PROTOKOL MİMARİSİ**

MURTAZA CİCİOĞLU

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ ÇALHAN**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN YAZILIM TANIMLI
AĞ DESTEKLİ YENİ BİR PROTOKOL MİMARİSİ

Murtaza CİCİOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Celal ÇEKEN

Sakarya Üniversitesi

Prof. Dr. Resul KARA

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Devrim AKGÜN

Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Enes BAYRAKDAR

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

09 Ocak 2020

(İmza)

Murtaza CİCİOĞLU



TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek, özveri ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ali ÇALHAN'a en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyerek çalışmalarına çok değerli katkılar sağlayan değerli tez jürisi hocalarım Prof. Dr. Celal ÇEKEN'e ve Prof. Dr. Resul KARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Sürekli bütün çalışmalarında beni motive eden kızlarıma ve desteğini hiç esirgemeyen çok değerli eşime en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

09 Ocak 2020

Murtaza CİCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
EXTENDED ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	1
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
1.3. TEZ ORGANİZASYONU.....	12
2. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI	13
2.1. IEEE 802.15.6 STANDARDI	18
2.1.1. IEEE 802.15.6 İletişim Yöntemleri.....	18
2.1.1.1. İşaret Paketli Süper Çerçeve Yöntemi.....	19
2.1.1.2. İşaret Paketsiz Süper Çerçeve Yöntemi.....	19
2.1.1.3. İşaret Paketsiz Süper Çerçevesiz Yöntem.....	19
2.1.2. IEEE 802.15.6 Erişim Mekanizmaları	20
2.1.2.1. CSMA/CA Protokolü.....	21
2.2. ISO/IEEE 11073 KİŞİSEL SAĞLIK VERİ STANDARDI	22
3. YAZILIM TANIMLI AĞLAR.....	24
3.1. YAZILIM TANIMLI KABLOSUZ AĞLAR	26
3.2. OPENFLOW PROTOKOLÜ	28
4. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN YAZILIM TANIMLI AĞ DESTEKLİ YENİ BİR PROTOKOL MİMARİSİ	30
4.1. GELİŞTİRİLEN YT-KVAA MİMARİSİNİN BİLEŞENLERİ	33
4.1.1. YT-KVAA Denetleyicisi.....	33
4.1.2. YTA Uyumlu HUB Düğümü	37
4.2. CSMA-CA TEMELLİ IEEE 802.15.6 STANDARDI	39
4.2.1. Öncelik Haritası	39
4.3. HUBSFLOW AĞ ARA YÜZ PROTOKOLÜ	42
4.4. DENETLEYİCİ ÜZERİNDE ÇALIŞAN ENERJİ DUYARLI YÖNLENDİRME ALGORİTMALARI	46
4.4.1. SDNRouting Yönlendirme Algoritması	46
4.4.2. ESR-W Yönlendirme Algoritması	49
4.4.2.1. ESR-W Akış Diyagramı.....	51
4.4.2.2. Bulanık Mantık Tekniği ile Verimli ve Minimum Maliyetli Yönlendirme.....	54

4.5. BULANIK MANTIK TABANLI AĞ GEÇİDİ SEÇİM ALGORİTMASI.....	56
4.6. ÖZGÜL EMİLİM ORANINA DAYALI DİNAMİK HUB SEÇİM ALGORİTMASI.....	60
4.6.1. Dinamik HUB Seçim Sürecinde Bulanık Mantık Tekniği.....	62
5. YT-KVAA MİMARİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	65
5.1. IEEE 802.15.6 OEK TEKNİĞİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	65
5.2. HUBsFLOW AĞ ARA YÜZ PROTOKOLÜNÜN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	71
5.3. YÖNLENDİRME ALGORİTMALARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	79
5.3.1. SDN Routing Yönlendirme Algoritmasının Performans Değerlendirmesi	79
5.3.1.1. Senaryo 1	81
5.3.1.2. Senaryo 2	84
5.3.2. ESR-W Yönlendirme Algoritmasının Performans Değerlendirmesi	89
5.3.2.1. Veri Aktarımında İş Çıkarım Oranı ve Uçtan Uca Gecikme.....	91
5.3.2.2. Veri Aktarımında Tüketilen Enerji	95
5.4. BULANIK MANTIK TABANLI AĞ GEÇİDİ SEÇİM ALGORİTMASININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	97
5.5. ÖZGÜL EMİLİM ORANINA DAYALI DİNAMİK HUB SEÇİM ALGORİTMASININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	104
7. KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2-1. KVAA mimarisinin katmanlı ağ yapısı.....	15
Şekil 2-2. Süper çerçeve erişim aşamaları.....	20
Şekil 2-3. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 veri iletim akış diyagramı.....	22
Şekil 3-1. a) Geleneksel, b) YTA ağ altyapısı.....	26
Şekil 4-1. YT-KVAA mimarisinin genel yapısı.....	32
Şekil 4-2. Sağlık uygulamaları için YT-KVAA mimarisi.....	33
Şekil 4-3. Kanal birleştirme tekniği.....	36
Şekil 4-4. YT-KVAA mimarisi iletişim yapısı.....	37
Şekil 4-5. YTA uyumlu HUB düğüm mimarisi.....	38
Şekil 4-6. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün iletişim mekanizması.....	43
Şekil 4-7. YT-KVAA mimarisi için örnek bir senaryo.....	46
Şekil 4-8. SDNRouting yönlendirme algoritması.....	48
Şekil 4-9. SDNRouting yönlendirme algoritması sıra diyagramı.....	49
Şekil 4-10. YT-KVAA mimarisi için ESR-W iletişimi.....	50
Şekil 4-11. En uygun rota tespiti akış diyagramı.....	52
Şekil 4-12. HUB düğümlerindeki veri iletiminin akış diyagramı.....	53
Şekil 4-13. Bulanık mantık tabanlı en uygun rota seçim süreci.....	55
Şekil 4-14. Bulanık giriş ve çıkış maliyeti üyelik fonksiyonları.....	55
Şekil 4-15. BAS algoritması mimarisi.....	57
Şekil 4-16. BAS algoritması bulanık model blok şeması.....	58
Şekil 4-17. Bulanık giriş üyelik fonksiyonları.....	58
Şekil 4-18. Örnek bulanık girişler/senaryo içeren çıkışlar.....	59
Şekil 4-19. BAS algoritmasının sıra diyagramı.....	60
Şekil 4-20. Önerilen bulanık mantık tabanlı HUB seçim süreci.....	62
Şekil 4-21. Bulanık sistem üyelik fonksiyonları.....	63
Şekil 4-22. DHS algoritmasının blok şeması.....	64
Şekil 5-1. IEEE 802.15.6 KVAA-içi haberleşme.....	66
Şekil 5-2. Farklı öncelikli düğümler için a) 0.5 paket/sn. b) 1 paket/sn. c) 2 paket/sn. d) 3 paket/sn. e) 4 paket/sn. f) 5 paket/sn. değerlerindeki gecikme sonuçları.....	68
Şekil 5-3. Farklı öncelikli düğümler için a) 0.5 paket/sn. b) 1 paket/sn. c) 2 paket/sn. d) 3 paket/sn. e) 4 paket/sn. f) 5 paket/sn. değerlerindeki iş çıkarım sonuçları.....	69
Şekil 5-4. Farklı iş yükleri için enerji tüketim sonuçları.....	70
Şekil 5-5. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün performans analizi için örnek senaryo.	71
Şekil 5-6. YT-KVAA mimarisi için farklı önceliklere ait iş çıkarım oranı.....	74
Şekil 5-7. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin iş çıkarım oranları.....	75
Şekil 5-8. YT-KVAA mimarisi için farklı önceliklere ait gecikme sonuçları.....	76
Şekil 5-9. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin paket kayıp oranları.....	77
Şekil 5-10. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin bit hata oranları.....	78
Şekil 5-11. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin ortalama enerji tüketimi.	79
Şekil 5-12. Tek atlamalı yönlendirme algoritma senaryosu.....	82
Şekil 5-13. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için iş çıkarım oranları.....	82
Şekil 5-14. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için uçtan uca gecikme	

sonuçları.	83
Şekil 5-15. Farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları.	84
Şekil 5-16. Çoklu atlamalı yönlendirme senaryosu.	85
Şekil 5-17. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için iş çıkarım oranları.	86
Şekil 5-18. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için uçtan uca gecikme sonuçları.	87
Şekil 5-19. Farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları.	88
Şekil 5-20. Farklı zaman aralıklarındaki karşılaştırmalı ortalama enerji tüketim oranları.	88
Şekil 5-21. Ağdaki düğüm yerleşimi (52 düğüm).	90
Şekil 5-22. ESR-W için kullanılan ağ trafik düzenleri a) Noktadan Noktaya b) Yakınsama.	91
Şekil 5-23. Farklı öncelikli paketlerin iş çıkarım oranları.	92
Şekil 5-24. Farklı öncelikli paketlerin gecikme sonuçları.	93
Şekil 5-25. ESR-W, AODV ve SDNRouting algoritmalarının gecikme sonuçları.	93
Şekil 5-26. UP7 öncelikli paketlerin üç farklı yaklaşımdaki başarılı iletim oranları.	94
Şekil 5-27. Farklı atlama sayılarındaki enerji tüketim değerleri.	95
Şekil 5-28. Farklı iş yüklerine ait enerji tüketim değerleri.	96
Şekil 5-29. Önerilen sistemin değerlendirilmesi için örnek bir senaryo.	97
Şekil 5-30. Ağ geçitlerinin adaylık değerleri.	98
Şekil 5-31. Örnek durum çalışması: Bir afet vakası için ağ geçidi seçimi.	98
Şekil 5-32. Örnek durum incelemesi için erişim noktalarının adaylık değerleri.	99
Şekil 5-33. Benzetimdeki algılayıcı düğümlerinin SAR değerleri.	101
Şekil 5-34. Benzetimde HUB olarak seçilin algılayıcı düğümler.	101
Şekil 5-35. İlk üç düğümün vücut üzerindeki yerleri.	102
Şekil 5-36. UP1, UP4 ve UP7'nin a) iş çıkarım oranları b) uçtan uca gecikme sonuçları.	103

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. KAA ile KVAA arasındaki farklar.	14
Çizelge 2.2. ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı medikal uygulama sınıfları.	23
Çizelge 4.1. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünde akış tablosu.	39
Çizelge 4.2. Kullanıcı öncelik haritası.	40
Çizelge 4.3. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardının sözde kodu.....	41
Çizelge 4.4. Önerilen bulanık mantık sistemindeki bazı kurallar.....	56
Çizelge 4.5. “if/then” kontrol kurallarının bazıları.	59
Çizelge 4.6. Önerilen sistemdeki bazı kurallar.....	64
Çizelge 5.1. Benzetim parametreleri.....	66
Çizelge 5.2. Benzetim parametreleri.....	72
Çizelge 5.3. Benzetim parametreleri.....	80
Çizelge 5.4. Benzetim parametreleri.....	90
Çizelge 5.5. Benzetim parametreleri.....	100
Çizelge 5.6. Aday değerleriyle tüm algılayıcı düğümlerinin değerlendirme parametreleri.....	100

KISALTMALAR

ACK	Alındığını Bildirme (Acknowledgement)
AODV	Geçici İsteğe Bağlı Mesafe Vektör Yönlendirme (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)
AP	Erişim Noktası (Access Point)
API	Uygulama Ağ Ara Yüzü (Application Programming Interface)
B	İşaret Paketi (Beacon)
BAN	Vücut Alan Ağları (Body Area Network)
BAS	Bulanık Mantık Tabanlı Ağ Geçidi Seçim Algoritması
BG	Bant Genişliği (Bandwidth)
CAM	İçerik Adreslenebilir Bellek (Content-Addressable Memory)
CAMA	Bağlam Duyarlı Mobil Yaklaşımı (Context-Aware Mobile Approach)
CAP	Çekişmeli Erişim Fazı (Contention Access Phase)
CAPWAP	Kablosuz Erişim Noktalarının Kontrolü ve Sağlanması
CSMA/CA	Taşıyıcı Sezme Çoklu Erişim / Çarpışma Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
CTS	Ortam Temiz Mesajı (Clear To Send)
ÇP	Çekişme Penceresi
EAP	Özel Erişim Fazı (Exclusive Access Phase)
ECG	Elektrokardiyografi
EEG	Elektroensefalografi
EKG	Elektrokardiyografi
EMI	Elektromanyetik Girişim (Elektromanyetik Interference)
FCC	Federal İletişim Kurulu (Federal Communications Commission)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
ISM	Endüstriyel Bilimsel Tıbbi (Industrial Scientific Medical)
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
KAA	Kablosuz Alan Ağları (Wireless Area Network)
KVAA	Kablosuz Vücut Alan Ağları (Wireless Body Area Network)
LTE	Uzun Vadeli Evrim (Long-Term Evolution)
MAP	Yönetim Erişim Fazı (Management Access Phase)
NFV	Ağ İşlevleri Sanallaştırması (Network Function Virtualization)
OEK	Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control)
ONF	Açık Ağ Vakfı (Open Network Foundation)
OSI	Açık Sistem Bağlantıları (Open Systems Interconnections)
PDA	Kişisel Dijital Asistan
pSIFS	Kısa IFS (Short IFS)
QoS	Hizmet Kalitesi (Quality of Service)
RAM	Rastgele Erişimli Bellek (Random Access Memory)
RAP	Rastgele Erişim Fazı (Random Access Phase)
RFI	Radyo Frekanslı Girişim (Radio Frequency Interference)
RREP	Rota Cevabı (Route Response)

RREQ	Rota Talebi (Route Request)
RSSI	Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication)
RTS	Gönderme İsteği (Request To Send)
SAR	Özgül Emilim Oranı (Specific Absorption Rate)
SCI	Bilim Alıntı Endeksi (Science Citation Index)
SDWN	Yazılım Tanımlı Kablosuz Ağ (Software Defined Wireless Network)
SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time-Division Multiple Access)
TREP	Topoloji Cevabı (Topology Response)
TREQ	Topoloji Talebi (Topology Request)
UP	Kullanıcı Önceliği (User Priority)
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network)
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
WiMax	Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
YTA	Yazılım Tanımlı Ağlar (Software Defined Network)
YT-KVAA	Yazılım Tanımlı Kablosuz Vücut Alan Ağları
3G	3. Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmeti
5G	5. Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmeti

SİMGELER

m
S
t
W

Kütle
Özgül Emilim Oranı
Zaman
Güç



ÖZET

KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN YAZILIM TANIMLI AĞ DESTEKLİ YENİ BİR PROTOKOL MİMARİSİ

Murtaza CİCİOĞLU

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Ocak 2020, 114 sayfa

Kablosuz vücut alan ağları (KVAA), insan sağlığı verilerinin izlenmesini sağlayan en umut verici iletişim teknolojilerinden biridir. KVAA mimarisinin heterojen ve karmaşık ağ yapısı, üretici firma bağımlılığı, hareketlilik durumları, sınırlı enerji kaynakları, trafik önceliklendirme yönetimi, kurulum/yeniden yapılandırma gibi kontrol ve yönetim süreçleri halen çözüm bekleyen bazı sorunlar arasında yerini almaktadır. Bu sorunlarla başa çıkabilmek için ağ iletişimde yeni bir tasarım ve yönetim anlayışını tanımlayan Yazılım Tanımlı Ağ (YTA) yaklaşımı son zamanlarda hem akademi hem de endüstri dünyası tarafından oldukça ilgiyle karşılanmıştır. Bu tez çalışmasında, uygulama gereksinimleri CSMA-CA temelli IEEE 802.15.6 standardına göre tanımlanmış KVAA mimarisinin esnek, programlanabilir, enerji duyarlı ve yönetilebilir dinamik bir ağ yapısına kavuşabilmesi için Yazılım Tanımlı Kablosuz Vücut Alan Ağ (YT-KVAA) yaklaşımı önerilmiştir. YT-KVAA mimarisi için HUBsFlow ağ ara yüz protokolü, SDNRouting ile ESR-W enerji duyarlı yönlendirme algoritmaları, bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritması ve özgül emilim oranına (SAR) dayalı dinamik koordinatör düğüm seçim algoritması geliştirilmiştir. Ağın genel görünümüne sahip, kapsama alanındaki tüm HUB düğümlerini yönetebilen, ağla ilgili kontrol ve yönetim işlemlerini devralmış bir denetleyici tasarlanmıştır. HUBsFlow ağ ara yüz protokolü, kontrol katmanı elemanı olan denetleyicinin veri katmanı elemanları olan HUB düğümleri ile iletişim kurma biçimini standartlaştırmak için önerilmiştir. YT-KVAA mimarisinin tüm bileşenleri, protokolleri ve algoritmaları Riverbed Modeler benzetim yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Çeşitli senaryolar ile yapılan performans değerlendirmesinde iş çıkarımı, uçtan uca gecikme, paket kayıp oranı, bit hata oranı, başarılı iletim oranı ve enerji tüketim değerleri gibi ağ başarımları parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, IEEE/ISO 11073 kişisel sağlık veri standardının tanımladığı servis kalite gereksinimleri temel alındığında, YT-KVAA yaklaşımının geleneksel KVAA mimarisine göre daha uygun sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Bulanık mantık, HUBsFLOW ağ ara yüz protokolü, Kablosuz vücut alan ağları, Yazılım tanımlı ağlar, Yönlendirme algoritması.

ABSTRACT

A NEW PROTOCOL ARCHITECTURE FOR SOFTWARE-DEFINED NETWORKING BASED WIRELESS BODY AREA NETWORKS

Murtaza CİCİOĞLU

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronic and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÇALHAN

January 2020, 114 pages

Wireless Body Area Networks (WBANs) are one of the most promising communication technologies for monitoring human health data. Some pending issues in WBAN e.g., its heterogeneous and complex architecture, vendor dependency, mobility, limited energy resources, traffic prioritization management, control and management processes such as installation/reconfiguration are still among the problems waiting for solutions. In order to cope with these problems, the Software-Defined Networking (SDN) paradigm, which defines a new paradigm of design and management in network communication, has recently been received with great interest by both academia and industry. In this thesis, Software-Defined Wireless Body Area Network (SD-WBAN) approach has been proposed in order to achieve a flexible, programmable, energy sensitive and manageable dynamic network structure of WBAN architecture whose application requirements are defined according to CSMA-CA based IEEE 802.15.6 standard. For SD-WBAN architecture, HUBsFlow network interface protocol, SDN Routing and ESR-W energy sensitive routing algorithms, Fuzzy Logic based gateway selection algorithm and dynamic coordinator node selection algorithm based on specific absorption rate (SAR) have been developed. A controller has been designed with an overview of the network, capable of managing all HUB nodes in range, and taking over network-related control and management operations. The HUBsFlow network interface protocol has been proposed to standardize the communication between the controller as a control layer element and HUB nodes as data layer elements. All components, protocols and algorithms of SD-WBAN architecture were developed using Riverbed Modeler simulation software. Network performance parameters such as throughput, end-to-end delay, packet loss rate, bit error rate, successful transmission rate and energy consumption values were examined with various scenarios. According to the results obtained, based on the quality of service requirements defined by IEEE/ISO 11073 personal health data standard, SD-WBAN approach is found to be more suitable than traditional WBAN architecture.

Keywords: Fuzzy logic, HUBsFlow network interface protocol, Routing algorithm, Software-defined networking, Wireless body area network.

EXTENDED ABSTRACT

A NEW PROTOCOL ARCHITECTURE FOR SOFTWARE-DEFINED NETWORKING BASED WIRELESS BODY AREA NETWORKS

Murtaza CİCİOĞLU

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronic
and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÇALHAN

January 2020, 114 pages

1. INTRODUCTION

The next generation communication systems are developing based on the approach of being connected to the internet anytime and anywhere. Today, many new technologies (IoT, 5G) are being developed and existing network infrastructures are expected to keep pace with these developments. Wireless Body Area Networks (WBANs) are great of interest due to innovations in wireless communication technologies such as extended battery life and reduced size of electronic devices, as well as inadequate health facilities, caused by the growing human population and significant increase in health costs.

Software-Defined Networking (SDN) is a new network paradigm that defines a new design and management approach for traditional network infrastructure and aims to make the control and management operations of the network more simple and flexible through a logically defined central controller with a general view of the network. The main feature of this approach is the isolation of control and data planes from each other. It is thought that many features of SDN approach can be used to solve problems such as complex and heterogeneous network structure, energy efficiency and scalability of WBAN architecture. Although SDN was first developed for wired networks, it has also attracted researchers' interest in the use of different wireless architectures similar to WBAN architecture.

In this thesis, a comprehensive review of the recently proposed SDN solutions to improve the network performance of WBAN and similar wireless technologies has been made. Besides, this study is the first in the literature to propose the SDN approach to a WBAN architecture with a CSMA-CA based IEEE 802.15.6 standard. In contrast to many studies in the literature, WBAN architecture has been addressed with a holistic approach for both

intra-WBAN and inter-WBAN communications and new solutions have been proposed.

2. MATERIAL AND METHODS

In this thesis, a WBAN architecture with physical and data link layer properties of CSMA-CA based IEEE 802.15.6 standard is designed in Riverbed Modeler simulation environment. In order to integrate the SDN approach with this architecture, a controller responsible for control and management operations is designed. SD-WBAN architecture is a new architecture consisting of data, control and application planes. In the SD-WBAN architecture, a new network interface protocol (HUBsFlow) that defines communication standards between control and data planes, new energy-sensitive, reactive and centralized routing algorithms (SDNRouting, ESR-W) have been developed. In addition, a dynamic coordinator node selection algorithm based on a specific absorption rate (SAR) is designed for the coordinator node defined as fixed in the IEEE 802.15.6 standard. Finally, a fuzzy logic based gateway selection algorithm has been proposed in order to enable coordinator nodes to perform their duties in extraordinary situations such as disaster cases. Performance analyzes of all these algorithms were also performed. In addition, new solutions and trends/research areas have been mentioned in order to increase the performance of SD-WBAN architecture.

Within the scope of the thesis, processor modules of sensors, coordinators and gateway are designed using C programming language in Riverbed Modeler simulation software. After the CSMA-CA based IEEE 802.15.6 standard was designed, frequency range, bandwidth, modulation technique, packet size and many other communication parameters were set.

The design of the controller mechanism added to the WBAN architecture with the SDN approach was also carried out on the Riverbed Modeler simulation software. To implement the controller on the simulation software, a node and processor module was created and the corresponding codes were written in the C programming language. After designing HUBsFlow, the communication network interface protocol between controller and coordinator nodes, communication parameters such as frequency range, bandwidth, modulation technique, and packet size were set. After all the nodes were designed, topology discovery, dynamic channel allocation, flow management and routing decision algorithms were developed to enable the controller to perform network control and management operations. In addition, fuzzy logic technique has been utilized in multi-

parameter decision making processes of coordinator nodes outside the controller coverage area, SAR based dynamic coordinator node selection and routing decisions.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this thesis, performance analysis of WBAN architecture designed according to PHY and MAC specifications of CSMA/CA based IEEE 802.15.6 standard is performed. Delay, throughput and energy consumption results are examined and it is determined that the quality of service (QoS) requirements defined by ISO/IEEE 11073 personal health data standard were met.

For the dynamic, heterogeneous and complex WBAN architecture, a new approach (SD-WBAN) has been developed based on the SDN, consisting of controller, sensor and coordinator nodes. SD-WBAN is an architecture that allows all network devices to be managed with a standard network interface and to have a dynamic, energy-sensitive and more flexible structure. CSMA/CA based IEEE 802.15.6 standard is used for communication between the coordinator node and the sensor nodes connected to it (intra-WBAN communication). A new network interface protocol (HUBsFlow) has been developed where all communication processes between the coordinator nodes and the controller are defined and used in inter-WBAN communication. Network performance parameters such as throughput, end-to-end delay, packet loss rate, bit error rate were analyzed with Riverbed Modeler simulation software and the results were compared with traditional WBAN architecture. According to the results, it has been determined that performance increases with SD-WBAN architecture, QoS requirements defined by ISO/IEEE 11073 personal health data standard are met according to various priorities and it has more suitable results in all network performance parameters than traditional WBAN. In addition, it has been seen that SDN approach plays a key role in the control and management processes of WBAN architecture which has complex network infrastructure.

For the SD-WBAN architecture, a new centralized, reactive and energy sensitive routing algorithm (SDNRouting) running on the controller is proposed and performance analyzes are performed in different scenarios. SNR and battery level metrics are used in SDNRouting route decision process. In the routing process performed by the controller, the most suitable route is determined by the Dijkstra algorithm. The battery level is defined as a threshold value (2J). The coordinator nodes that reach the threshold value

are avoided to select as intermediate nodes.

For the SD-WBAN architecture, a new routing algorithm (ESR-W) has been developed using Fuzzy Logic based Dijkstra algorithm. ESR-W algorithm is compared with AODV and SDNRouting algorithms and it is observed that it gives more successful results. Using Fuzzy Logic based Dijkstra algorithm, SNR, hop count, and battery level metrics provided better performance in terms of energy consumption in routing decision. In the AODV algorithm, it is observed that some coordinator nodes are over-used and some are almost never used. This problem is partially solved with SDNRouting algorithm. However, it has been observed that the algorithm used more intermediate nodes to reaches the destination. The ESR-W algorithm is found to solve these problems. Thanks to the SDN approach, the ability to change routes in real time has also increased network performance of the SD-WBAN architecture. It has been found that ESR-W algorithm provides appropriate results in throughput, end to end delay, successful transmission rate, and energy consumption values. As a result, the use of a fuzzy logic-based Dijkstra algorithm with the SNR, battery level, and hop count metrics has made the routing process more efficient.

For the SD-WBAN architecture, a fuzzy logic based gateway selection algorithm (FGS) has been developed to be used in case of disaster situations in which the endangered persons are required to send the SOS information to the destination. The performance analysis of this algorithm for disaster situation scenarios is performed and confirmed that the results obtained had good and accurate.

Finally, a dynamic coordinator node selection algorithm (DHS) for intra-WBAN communication has been developed in the WBAN architecture with CSMA-CA based IEEE 802.15.6 standard. In IEEE 802.15.6, the coordinator node is defined as fixed. This approach has been found to produce a high SAR effect for the coordinator node, resulting in much more damage to the human body. With the proposed fuzzy logic based decision system, the coordinator node can be selected dynamically according to SAR value, battery level and priority value parameters. Priority values are used as defined in IEEE 802.15.6 standard. The results show that the proposed algorithm can select the most suitable sensor node as the coordinator node.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

In this thesis, the analysis and simulation of WBAN architecture based on the SDN

approach is performed. The proposed SD-WBAN architecture has the following capabilities;

- The routes of the coordinator nodes can be changed in real time by the controller.
- The control and management processes of coordinator nodes (inter-WBAN) are facilitated by a standard network interface protocol (HUBsFlow) that eliminates the dependency of the vendor.
- Energy-intensive algorithms and control programs, such as intelligent routing decisions, have been transferred from the coordinator nodes which have limited memory and energy resources to the controller.
- This approach ensures that control and management operations are performed from a logical central point and that the shared wireless network environment can be used more efficiently and fairly.

For future studies, it is considered that artificial intelligence techniques should be used in rules placement policies in order to use flow tables more efficiently. In addition, a new network interface protocol design is planned for the communication of multiple controller architectures which are among the important expectations in terms of SDN approach. The routing algorithms developed in this thesis are mostly designed for inter-WBAN communication. It is considered that routing algorithms can be used in intra-WBAN communication and considering different parameters such as SAR and data rate as routing metrics.

1. GİRİŞ

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Gelecek nesil haberleşme sistemleri her an ve her yerde internete bağlı olmak anlayışıyla gelişim göstermektedir. Bu bağlamda birçok yeni teknoloji (IoT, 5G) gelişmekte ve mevcut altyapıların bu gelişimlere ayak uydurması beklenmektedir. Kablosuz haberleşme teknolojilerindeki yenilikler, sürekli gelişen ve daha çok küçülen elektronik cihazların ortalama kullanım ömrünün artması, dünyada artan insan nüfusu sonucu yetersiz kalan sağlık imkânları ile sağlık maliyetlerindeki ciddi artış kablosuz vücut alan ağlarına (KVAA) olan ilginin ve ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır.

KVAA, insan vücudunun içine veya üzerine yerleştirilmiş bir dizi algılayıcı (EKG, EEG vb.) düğümler ile bu düğümlerin bağlı bulunduğu bir koordinatör düğümünden oluşmaktadır [1]. Özellikle küçük boyutlu bu düğümler arasındaki düşük güçlü kablosuz haberleşme KVAA mimarisi için oldukça önem arz etmektedir. Düşük güçlü ve çok fonksiyonlu algılayıcı düğümler, KVAA mimarisinin sağlık, askeri, spor ve eğlence başta olmak üzere birçok farklı alanda kullanılabilmesi için yeni imkânlar doğurmuştur. Bu teknoloji, kişinin fizyolojik parametrelerini toplamak, saklamak, işlemek, ilgili birime doğru zamanda iletmek, ona her yerde ve her an hizmet sunmak üzere tasarlanmıştır. Ancak halen bu teknolojinin yeterli ve etkili kullanılmadığı yadsınamaz bir gerçektir. Bu bağlamda küçük boyutları, sınırlı enerjileri, uygulamaya özgü servis kalite gereksinimleri (QoS), heterojen ağ trafiği gibi farklı ve spesifik özelliklere sahip bu mimarinin kullanım sıklığını arttıracak, güncel teknolojik gelişmelere ayak uyduracak yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Uygun maliyetli, ölçeklenebilir, güvenilir ve esnek elektronik sağlık (e-sağlık) hizmetleri geliştirebilmek için, KVAA teknolojilerinin daha basit, tekdüze (tektip) olması ve güvenli bir iletişim altyapısını desteklemesi önemli bir beklentidir. Karmaşık ve heterojen bir ağ yapısına sahip olan KVAA mimarisinde enerji verimliliği ve ölçeklenebilirlik sorunlarına da çözümler üretilmesi gerekmektedir. Yeterli hesaplama, işleme ve depolama kaynaklarına sahip geleneksel cihazların aksine, KVAA mimarisinde kullanılan algılayıcı düğümler birçok anlamda kısıtlı yeteneklere sahiptir. Bu bağlamda KVAA için ortam

erişim kontrol (OEK) protokolü gibi yeni çözümler geliştirirken, KVAA haberleşme ortamının bir parçası olan bu heterojen algılayıcı düğümlerinin farklı ve kısıtlı kaynak özellikleri de dikkate alınmalıdır. KVAA mimarisinde ölçeklenebilirliğin önemli bir sorun olmasının ana nedenlerinden biri, birçok algılayıcı düğümünün birbiriyle etkileşime geçmesi için bir iletişim ortamının sağlanması gerektiğidir. Bu bağlamda, yukarıda bahsedilen sorunların çözümü için Yazılım Tanımlı Ağ (YTA) yaklaşımının KVAA mimarisi ile nasıl entegre edileceği ele alınmıştır.

YTA, günümüz ağ altyapısı için yeni bir tasarım ve yönetim anlayışını tanımlayan, ağın genel görünümüne sahip mantıksal olarak tanımlanmış merkezi bir denetleyici aracılığıyla ağın kontrol ve yönetim işlemlerinin daha basit ve esnek hale dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir ağ yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın temel özelliği, kontrol ve veri düzlemlerinin birbirinden soyutlanmasıdır [2], [3]. Veri düzleminde bulunan cihazlar (anahtar, yönlendirici) veri iletimini gerçekleştirirken, YTA denetleyicisi ağ ile ilgili tüm karar mekanizmalarını yürütmektedir. Karar mekanizmalarının algoritmaları, veri düzleminde bulunan ağ cihazlarında çalışmadığı için, karmaşık ve yönetilmesi zor ağ yönlendiricilerden ziyade daha basit ağ cihazlarının veri düzleminde kullanılabilmesine imkân sunmuştur. Ayrıca, geleneksel ağ altyapısında kullanılan her yönlendiricinin kendine ait bir yönlendirme mekanizması bulunmaktadır. Bu mekanizmalardan herhangi birinin güncellenmesi gerektiğinde, her bir ağ cihazının ayrı ayrı yeniden düzenlenmesi gerekebilmektedir. Bu soruna bir çözüm olarak YTA yaklaşımı yazılımsal ve merkezi bir yönetim anlayışını öne sürmektedir. Bu sayede dinamik ağ koşullarına hızlı uyulanabilen otonom bir ağ ortamı sağlanmaktadır. YTA yaklaşımının sahip olduğu birçok özellik, KVAA mimarisinin sahip olduğu karmaşık ve heterojen ağ yapısı, enerji verimliliği, ölçeklenebilirlik gibi sorunlarını çözmek için kullanılabileceği düşünülmektedir. YTA ilk olarak kablolu ağlar için ortaya çıkmış olsa da, KVAA mimarisine benzer farklı mimariler için de kullanımı, son zamanlarda araştırmacıların da ilgisini çekmektedir.

Kablosuz ağlarda erişim ortamlarının sahip olduğu bazı özelliklerden dolayı KVAA için verimli yönlendirme protokolü geliştirmek de başka bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılabilir band genişliğinin sınırlı olması, paylaşılması, sönmüleme etkisi, gürültü ve parazitler gibi olumsuz durumlar ağın kontrol bilgisini daha sınırlı hale dönüştürmektedir [4]. Ayrıca ağı oluşturan algılayıcı düğümler enerji ve hesaplama gücü açısından da oldukça sınırlı kaynaklara ve heterojen bir yapıya sahip olabilmektedir [5]. KVAA mimarisi açısından, ağın kontrol ve yönetim işlemlerinin mantıksal olarak

tanımlanmış merkezi bir denetleyici tarafından gerçekleştirilmesi çalışmamızın en önemli katkılarından biridir. YTA destekli KVAA (YT-KVAA) yaklaşımı, KVAA koordinatör düğümlerindeki enerji tüketimi ve ağdaki gereksiz ağ trafiğinin azaltılması bakımından oldukça faydalı olacaktır. Ayrıca yönlendirme algoritmalarının çok parametrelili durumları için gerekli karar mekanizmasında bulanık mantık gibi yaklaşımların kullanılması daha uygun kararlar verilmesine de imkân sunmaktadır [6], [7].

Bu tez çalışmasında, KVAA ve benzer kablosuz ağ ortamlarında ağ performansını artırmak için yakın zamanda önerilen YTA çözümlerinin kapsamlı bir incelemesi de yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma literatürde, IEEE 802.15.6 standardına sahip bir KVAA mimarisi için YTA yaklaşımını öneren ilk çalışmadır. Literatürdeki birçok çalışmanın aksine KVAA mimarisi bütüncül bir yaklaşımla ele alınmış ve yeni çözümler geliştirilmiştir. İlk olarak benzetim ortamında IEEE 802.15.6 standardına sahip bir KVAA mimarisi tasarlanmıştır. Daha sonra, KVAA mimarisine YTA yaklaşımının entegre edilebilmesi için kontrol ve yönetim işlemlerinden sorumlu bir denetleyici tasarlanmıştır. YT-KVAA mimarisi veri, kontrol ve uygulama katmanlarından oluşan yeni bir mimari olarak ele alınmıştır. Önerilen mimaride (YT-KVAA) kontrol ve veri düzlemleri arasındaki haberleşme standartlarını tanımlayan yeni bir ağ ara yüz protokolü (HUBsFlow), enerji duyarlı, reaktif ve denetleyici üzerinde çalışan yeni yönlendirme algoritmaları (SDNRouting, ESR-W) geliştirilmiştir. Ayrıca IEEE 802.15.6 standardında sabit olarak tanımlanmış koordinatör düğüm yaklaşımı yerine özgül emilim oranına (SAR) dayalı dinamik koordinatör düğüm yaklaşımı önerilmiş ve yeni bir seçim algoritması tasarlanmıştır. Son olarak koordinatör düğümlerin afet durumları gibi olağan dışı durumlarda da görevlerini yerine getirebilmesi amacıyla bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim (BAS) algoritması önerilmiştir. Tüm bu algoritmaların performans analizleri gerçekleştirilmiş ve YT-KVAA mimarisinin performansını arttırmak amacıyla yeni çözümler ve çalışma alanlarından bahsedilmiştir.

YT-KVAA mimarisi için mantıksal ve merkezi kontrol birimi olan denetleyicinin, kanal birleştirme tekniği ile gecikmeye duyarlı trafikler için bant genişliği ayırabilmesi, düğümlerin hareketlilik durumları için yönlendirme kararlarını verebilmesi, enerji verimliliğini desteklemek için reaktif olarak yönlendirme tablolarını güncelleyebilmesi ve düğümlerin dinamik olarak aktif ve uyku modlarına alınabilmesi, verimli veri iletimine olanak tanıyabilmesi en önemli katkılarıdır.

Tez çalışmasının amacı; YTA yaklaşımına dayalı yeni bir KVAA mimarisi ortaya

koymaktır. Tez çalışması kapsamında, YT-KVAA mimarisinde var olan algılayıcı düğümler, koordinatör düğümler ile ağ geçidi Riverbed Modeler benzetim yazılımı ile tasarlanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen mimarinin düğüm ve işlemci modülü bu benzetim yazılımında oluşturulmuş ve C programlama dilinde ilgili kodlar yazılmıştır. IEEE 802.15.6 standardı tasarlandıktan sonra frekans aralığı, bant genişliği, modülasyon tekniği, paket boyutu, vb. iletişim parametreleri ayarlanmıştır.

YTA yaklaşımı ile KVAA mimarisine eklenen denetleyici mekanizmasının tasarımı da yine Riverbed Modeler benzetim yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Denetleyiciyi benzetim yazılımı üzerinde gerçekleştirmek için aynı şekilde düğüm ile işlemci modülü oluşturulmuş ve C programlama dilinde ilgili kodlar yazılmıştır. Denetleyici ile koordinatör düğümler arasındaki haberleşme ağ ara yüz protokolü olan HUBsFlow tasarlandıktan sonra, frekans aralığı, bant genişliği, modülasyon tekniği, paket boyutu, vb. iletişim parametreleri ayarlanmıştır. Tüm düğümler tasarlandıktan sonra, denetleyicinin ağ kontrol ve yönetim işlemlerini gerçekleştirmesini sağlayan topoloji keşif, dinamik kanal tahsisi, akış yönetimi ve yönlendirme karar algoritmaları geliştirilmiştir. Ayrıca, denetleyici kapsamı dışındaki koordinatör düğümler için çok parametrelili karar verme süreçlerinde, özgül emilim oranına (SAR) dayalı dinamik koordinatör düğüm seçiminde ve yönlendirme kararlarında bulanık mantık tekniğinden faydalanılmıştır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde KVAA ve YTA ile ilgili ayrı ayrı birçok çalışma bulunmasına rağmen, YTA yaklaşımına dayalı KVAA konusunu ele alan çok az çalışma görülmüştür. Ayrıca YTA yaklaşımına dayalı KVAA fikrini öne süren bu birkaç çalışmanın konuyu daha çok kavramsal olarak ele aldığı ve birer konferans çalışmasının ötesine geçmediği de görülmüştür.

Al Shayokh vd. [8] çalışmalarında, KVAA mimarisi için bulut bilişim teknolojisi ve YTA yaklaşımına dayalı sanal hastane yaklaşımını önermişlerdir. Bu çalışmada, sanal hastane için, KVAA ile bulut mimarisinin bütünleştirilmesi ile oluşan karmaşıklığın ortadan kaldırılması amacıyla YTA yaklaşımının faydalarını kullanan yeni ve basitleştirilmiş bir mimari öne sürülmüştür. Literatürde KVAA için YTA yaklaşımının kullanılabilirliği görüşünü öne süren ilk çalışma olmasının yanı sıra daha çok mimari düzeyde incelenmiş

ve YTA yaklaşımının bulunduğu bir senaryoda performans değerlendirmesi yapılmamıştır. Al Shayokh vd. [9] bir başka çalışmada sanal hastane için önerilen YTKVAA yaklaşımı için etkili ve güvenilir veri iletimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. YTA'ya dayalı sanal hastane sistemleri için "Kerberos" olarak adlandırdıkları güvenli bir ağ kimlik doğrulama protokolüne sahip, verimli veri dağıtım sistemi önermişlerdir.

Sallabi vd. [10] çalışmalarında KVAA mimarisi için kişisel dijital asistan (PDA) olarak adlandırılan koordinatör cihazını YTA anahtarı olarak yapılandırmışlardır. PDA kendisine bağlı cihazları etkin bir şekilde yönetirken, minimum dağıtım karmaşıklığı ve ağ yükü ile KVAA'larda YTA yaklaşımının kullanılabilirliğini doğrulamak amacıyla Mininet emülatörü üzerinde benzetimi gerçekleştirilmiştir. Hasan vd. [11] çalışmalarında, YTA teknolojisi ile KVAA uygulamalarını bütünleştirmeyi amaçlayan yeni bir mimari (YTKVAA) önermişlerdir. Kontrol düzlemini veri düzleminden soyutlamak ve programlanabilir bir denetim mekanizmasına sahip olmak için yeni bir paket akış modeli ve kavramsal model geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın gerçek bir uygulaması ve benzetim ortamında performans değerlendirmesi görülmemiştir.

Hu vd. [12] hem akıllı sağlık takibi hem de duygusal bakım ile ilgilenen esnek bir ağ mimarisi önermişlerdir. Özellikle uygulama katmanını fiziksel altyapıdan soyutlayarak, HealthIoT olarak isimlendirdikleri YTA yaklaşımına dayalı yeni bir mimari geliştirilmişlerdir. HealthIoT ile sağlık hizmetlerine, iyi tanımlanmış uygulamalar (API) aracılığıyla veri toplama, aktarma, işleme, duygu geri bildirimlerini özelleştirilebilme ve genel olarak maliyetleri azaltmak için paylaşılan bir altyapı içinde birden çok uygulamanın var olmasını sağlayabilme yetenekleri kazandırılmıştır. Fiziksel altyapının kontrol ve yönetimi esnek hale dönüştürülmüştür. Bu çalışmada daha çok HealthIoT'nin uygulama katmanına odaklanılmış, mimari için kullanılmış olan OEK tekniği ve detaylarından bahsedilmemiştir. Ayrıca KVAA için önemli servis kalite parametreleri olan gecikme, enerji verimliliği ve iş çıkarım oranları da incelenmemiştir.

Aujla vd. [13] çalışmalarında, istenen hizmet kalitesini karşılayamayan bilgi işlem ve ağ altyapılarında Güvenli Sağlık Ekosistemi (SAFE) olarak ifade ettikleri uç-bulut etkileşimi için YTA yaklaşımına dayalı yeni bir çerçeve önermişlerdir. Bu çalışmada, uç-bulut etkileşimi için bir boşaltma şeması, YTA destekli sanallaştırılmış akış yönetimi ve güvenli bir şifreleme sistemi önerilmiştir.

Jiang vd. [14] tarafından yeni sağlık sistemi olarak adlandırılan Mobil Sağlık Sosyal Ağ

(MHSN) mimarisi için gizlilik koruma belirtilerinin eşleşmesini sağlayabilen YTA tabanlı iki kör imza temelli belirti eşleştirme şeması geliştirmişlerdir. Bu şemalar kaba tanımlı belirti eşleşmesi ve ince taneli belirti eşleşmesi olarak ifade edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile veriler herhangi bir üçüncü tarafa da aktarılamamaktadır. Güvenlik analizi ve ayrıntılı benzetimler, önerilen programların etkin gizlilik koruma belirti eşleştirmesi gerçekleştirebildiğini göstermiştir.

Baktir vd. [15] çalışmalarında, sağlık hizmetleri uygulamalarındaki son kullanıcı cihazlarının çeşitli taleplerini karşılayabilmek için uç sunucular ve bulut veri merkezlerinden oluşan çok katmanlı bir bilgi işlem ve iletişim mimarisi geliştirmişlerdir. Bu mimarinin dinamik yönetimi, ağ içinde uygulanacak politikalar ve sağlık hizmetlerinin programlanabilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma, önerilen mimarinin gerçek zamanlı sağlık hizmetlerini mümkün kılmak için uygun olduğunu ve geleneksel bulut tabanlı yaklaşımlara göre önemli performans avantajlarına sahip olduğunu göstermektedir. Salahuddin vd. [16] çalışmalarında, akıllı sağlık uygulamaları ve hizmetleri için nesnelere interneti ve YTA tabanlı çevik, esnek, uygun maliyetli ve güvenli bir altyapı önermişlerdir.

Li vd. [17] çok sayıda uzak tıbbi algılayıcılarının kullanılmasının gerçek zamanlı bilgileri iletirken, önemli bant genişliği gerektirdiğini ifade etmişlerdir. Hastanelerde ağ tıkanıklığından kaynaklanan sorunlara çözüm için YTA ve servis fonksiyon zincirine (SDN-SFC) dayanan bir yük dengeleme mekanizması önermişlerdir. Bu mekanizma uzaktan izleme ağ planlamasının optimizasyonunu ve büyük miktarda gereken donanım ihtiyacını ortadan kaldırmayı amaçlamıştır. Önerilen yöntemler ile e-sağlık ağ tasarımının geliştirebileceğini, tıbbi acil durumları uzaktan tanımlamak, kronik bakım ve tedavi sağlamak için algılayıcı düğümleri kullanarak daha fazla sayıda daha güvenilir hizmet sunabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada gecikme, enerji verimliliği, iş çıkarım oranları incelenmemiştir.

Izaddoost ve McGregor [18] çalışmalarında, veri transferinin güvenilirliğini arttırmak, gerçek zamanlı veri işleme kalitesini geliştirmek, fizyolojik veri akışlarını daha önceden belirlenmiş olan en kısa yoldan ziyade daha iyi kalitede alternatif bir yoldan aktarmak amacıyla YTA teknolojilerinden yararlanmışlardır. YTA teknolojisi ile sağlık hizmet verilerinin iletilmesinde arzu edilen seviyeye gelmesi için, bir kırsal hastane ile bulut tabanlı bir Artemis platformu arasındaki iletişim ağının performansını nasıl geliştirilebileceğini açıklamışlardır. YTA teknolojisi ağdaki yoğunluk sorununun

üstesinden gelmek amacıyla, uzak bir sağlık platformunda etkin bir iletişim altyapısı olarak ifade etmişlerdir. Ağın genel görünümüne sahip YTA denetleyicisi, mümkün olan en uygun yolun seçilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada sadece iş çıkarım oranı incelenmiş diğer tüm parametreler göz ardı edilmiştir.

Luo vd. [19] çalışmalarında, YTA tabanlı KAA yaklaşımını önermişlerdir. Sensor OpenFlow olarak adlandırdıkları yaklaşım için çeşitli çözümler geliştirmişlerdir. Daha çok bir yaklaşım olarak ele alınan bu çalışmada, paket işleme ve KAA mimarisi için tanımlanmış çeşitli adresleme tipleri detaylıca açıklanmıştır. Bu çalışmanın da gerçek bir uygulaması ve benzetim ortamında performans değerlendirmesi yapılmamıştır.

Bera vd. [20] çalışmalarında, nesnelerin internetinde uygulama duyarlı servis sunumu sağlayabilen YTA temelli KAA mimarisini (Soft-WSN) önermişlerdir. Önerilen sistem uygulama, kontrol ve altyapı katmanlarını içermektedir. Cihaz yönetimi ve ağ yönetimi olmak üzere iki farklı ağ yönetim politikasına sahip bir denetleyici tasarlanmıştır. Cihaz yönetimi, kullanıcıların ağdaki cihazlarını kontrol etmelerine imkan sunmuştur. Cihaz kontrol mekanizmalarını etkinleştirmek için, algılayıcı düğümlerdeki algılama görevi, algılama gecikmesi ve aktif uyku durumları ele alınmıştır. Ağın topolojisi, nesnelerin internetinin dinamik gereksinimleriyle başa çıkabilmek için gerçek zamanlı değiştirilebilen ağ yönetim politikaları ile kontrol edilmiştir. Ayrıca, önerilen mimari, gerçek bir donanım platformunda uygulanmıştır. Soft-WSN, KAA yönetiminin esnekliğini ve basitliğini geliştirirken, nesnelerin internetinin gerçek zamanlı ve uygulamaya özgü gereksinimlerini karşılayabilmek için hem aygıt yönetimine hem de topoloji yönetimine odaklanmıştır. KAA mimarisi için önerilen çalışma oldukça faydalı olmasına rağmen, IEEE 802.15.6'nın kullanılmaması bir dezavantaj olarak görülmektedir.

Al-Shaikhli vd. [21], [22] Kablosuz Algılayıcı Eyleyici Ağ (WSAN) mimarisinde daha iyi performans sonuçları elde edebilmek amacıyla YTA denetleyici (SDNC) ile YTA uyumlu uç cihazlar arasındaki tüm iletişimden sorumlu olan WSANFlow adlı bir ağ ara yüz protokolünü Riverbed Modeler benzetim yazılımında geliştirmişlerdir. Bu tez çalışması için ilham kaynağı olan bu çalışmada, önerilen denetleyici (SDNC) aracılığıyla tüm ağ kontrol ve yönetim işlemleri merkezi bir düğümlerle gerçekleştirilebilmiştir. Denetleyici WSANFlow ağ ara yüz protokolü ile uç cihazları yönetilebilmekte ve ağın daha verimli olmasını sağlayacak talimatlar verebilmektedir. Önerilen mimarinin performansı, enerji tüketimi, iş çıkarımı ve uçtan uca gecikme sonuçları analiz edilmiştir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar farklı iş yükleri için ZigBee tabanlı mimari ile de karşılaştırılmış ve önerilen mimarinin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Al-Hubaishi vd. [6] yeni bir yönlendirme keşif mekanizmasına sahip YTA tabanlı kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ mimarisi geliştirmişlerdir. Esnek ve enerji açısından verimli bir ağ yapısı oluşturabilmek için, bulanık tabanlı Dijkstra algoritması kullanan yeni bir yönlendirme karar mekanizması geliştirilmiştir. Ayrıca veri aktarımı sırasında mevcut yolu değiştirebilen yeni bir yönlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen sistemin tüm bileşenleri ve algoritmaları, Riverbed Modeler yazılımı kullanılarak modellenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, bulanık tabanlı Dijkstra algoritması ile önerilen YTA tabanlı mimarinin, yalın Dijkstra ve ZigBee tabanlı benzer senaryolar ile karşılaştırıldığında enerji tüketim oranı bakımından daha verimli olduğu görülmüştür. YT-KVAA mimarisi için geliştirilen yönlendirme algoritmalarında bu çalışma referans alınmıştır.

Anadiotis vd. [23] çalışmalarında KAA'lar için YTA uyumlu bir mimari (SD-WISE) önermişlerdir. SD-WISE, heterojen uygulama alanlarında uygulanabilen esnek ve genişletilebilir bir çözüm sunmuştur. Hem denetleyici hem de algılayıcı düğüm tarafındaki kaynakların mevcut durum özetleri yazılımsal olarak elde edilebilmiştir. YTA ile öne çıkan soyutlamalardan yararlanarak, SD-WISE KAA'lar için YTA iletişim tekniklerini genişletmekte ve akışları tanımlamak için daha esnek bir yol önermektedir. Ayrıca enerji verimliliği amacıyla düğüm radyolarının görev döngülerini kontrol etme imkanı da sunmaktadır. Gerçek bir uygulamaya sahip olması açısından önemli bir avantaja sahip olan SD-WISE, IEEE 802.15.6 standardını desteklememektedir.

Misra vd. [24] çalışmalarında uygulamaya özel gereksinimleri gerçek zamanlı olarak destekleyen YT-KAA (SDWSN) için duruma duyarlı bir protokol değişim mekanizması önermişlerdir. Önerilen bu mekanizma karar verme ve protokol dağıtımını olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Karar verme aşamasında, uygulamaya özel gereksinimlere göre farklı zaman dilimlerinde uygulanacak en uygun yönlendirme protokolleri seçilmektedir. İkinci aşamada ise seçilen protokol YTA denetleyici tarafından uyarlamalı bir şekilde ilgili algılayıcı düğümlere dağıtılmaktadır. KAA mimarisindeki YTA denetleyicisi dinamik durumlara uygun bir yönlendirme protokolü uygulayabilmektedir. Çalışmada uygulamaya özel gereksinimleri değiştirirken, önerilen yaklaşımın başarımını göstermek için kapsamlı benzetim sonuçları analiz edilmiştir. Mimarinin farklı zaman aralıklarında,

enerji tüketimi, verimlilik, paket teslim oranı ve ağdaki gecikme açısından başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Duruma duyarlı protokol değiştirme yaklaşımının, YT-KAA mimarisinin performansını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Peizhe vd. [25] çalışmalarında, YTA yaklaşımı ile KAA mimarisini entegre eden yeni bir YTA tabanlı KAA mimarisi önermişlerdir. Bu çalışmada, YT-KAA mimarisinin ağ ömrünü uzatmak amacıyla, oyun teorisi temelli enerji duyarlı yeni bir algoritma geliştirilmişlerdir. Kalan enerji ve iletim gücü metrikleri ele alınarak geliştirilen algoritma, enerji tüketimini dengelemek ve ağ kullanım ömrünü uzatmak için geleneksel KAA mimarilerindeki tipik enerji verimli algoritmalara kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Kumar ve Vidyarthi [26] çalışmalarında, KAA mimarisinin ömrünü maksimuma çıkarmak için uyarlanabilir parçacık sürüsü optimizasyonunu (FJAPSO) kullanan enerji duyarlı bir yönlendirme algoritması önermişlerdir. FJAPSO otomatik optimizasyon için optimum kontrol düğümü sayısı ve kontrol düğümlerinin optimum kümelenmesi olmak üzere iki seviyede hareket etmektedir. Deneysel sonuçlar, FJAPSO'nun iyi performans gösterdiğini ve KAA'nın ömrünü önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Miguel vd. [27] çalışmalarında, YTA tabanlı KAA mimarisi (YTKAA) için zorlanmış uygulama protokolüne (CoAP) dayanan yeni bir kontrol düzlemi önermişlerdir. Kontrol altyapısı için iletişim altyapısı, kontrol düzlemi protokolü ve kontrol cihazlarındaki temel ağ fonksiyonları (topoloji keşfi ve akış kontrolü) dâhil olmak üzere kapsamlı teknik özellikleri açıklamışlardır. Önerilen kontrol düzleminin Contiki işletim sisteminde nasıl uygulanabileceği ve kontrol düzlem protokolünün getirdiği ek yükünün ön performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Haque vd. [28] çalışmalarında, YTA tabanlı tasarımın KAA gibi multihop kablosuz ağ mimarilerinde faydalı olduğu ifade edilmiş ve SDSense adlı bir mimari önermişlerdir. Ağ işlevlerini yavaş (örneğin topoloji kontrolü) ve hızlı (örneğin, tıkanıklık kontrolü) değişen bileşenler olarak ayrıştıran YTA tabanlı KAA tasarımına yeni bir yaklaşım kazandırmışlardır. Ayrıca, daha iyi kaynak tahsisi için maksimize etme çerçevesi geliştirmişlerdir. Programlanabilir düğümlerin mevcut ağ koşullarına adapte olacak şekilde dinamik olarak yeniden yapılandırıldığı ve SDSense'in benzerlerine kıyasla ağ performansını önemli ölçüde artırabildiğini göstermişlerdir.

Akyildiz vd. [29] çalışmalarında yeni nesil (5G) kablosuz sistemler için "SoftAir" olarak

isimlendirdikleri YTA tabanlı yeni bir mimari önermişlerdir. Ölçeklenebilir ve daha esnek bir ağ mimarisi sağlamak için ağ işlevi sınıflandırma ve ağ sanallaştırmanın yeni fikirlerinden yararlanmışlardır. Önerilen mimariyi desteklemek ve yönetmek için gereken temel teknolojiler, baz istasyon ayrıştırması, Openflow protokolünün uygulanması, mobilite duyarlı kontrol trafik dengelemesi, kaynak verimli ağ sanallaştırması ile dağıtılmış ve işbirliğine dayalı trafik sınıflandırması işlemleri detaylıca açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada yazılım tanımlı trafik mühendisliği çözümleri de sunulmuştur.

Silva vd. [30] çalışmalarında, “Bağlam Duyarlı Mobil Yaklaşımı” (CAMA) olarak isimlendirdikleri kalite odaklı hareketlilik kontrol yeteneklerini mümkün kılan YTA yaklaşımına dayalı yeni bir ağ altyapısı önermişlerdir. CAMA, sağlık hizmetlerinde verimliliği ve güvenirliliği sağlamak için sağlık hizmetlerinin uygulanma, yönetilme, sürdürülme şeklini değiştirmeyi, bağlamsal bilinçli e-sağlık tesisleri aracılığıyla Brezilya birinci basamak sağlık sistemini iyileştirmeyi amaçlamayan bir yaklaşıma sahiptir. Önerilen çalışma bağlanma noktasına (Point of Attachment - PoA) karar vererek, hem uygulama kalite gerekliliklerini karşılayabilmekte hem de mevcut kablosuz kalite koşullarını geliştirebilmektedir. Ayrıca çalışmada e-sağlık sistemlerinde geribildirimlerin güvenirliliği ve dayanıklılığı arttırılmaya çalışılmıştır.

Ullah ve Kwak [31], [32] çalışmalarında iletim hatası olmayan ideal bir kanal için IEEE 802.15.6 standardının teorik verim ve gecikme sınırlarını belirlemek amacıyla matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada farklı frekans bantları ve veri hızları için sınırlar oluşturulmuştur. Ayrıca spektral kullanımını ölçebilmek amacıyla IEEE 802.15.6'nın bant genişliği verimliliğini analiz etmişleridir. Verim, gecikme ve bant genişliği verimliliği sonuçları, yük boyutunun bir işlevi olarak ele alınmış ve analizler yapılmıştır. Bu çalışma, protokol tasarımcıları tarafından paket boyutunu optimize etmek ve farklı KVAA uygulamaları için IEEE 802.15.6'nın performans üst sınırlarını belirlemek için oldukça aydınlatıcıdır. Ullah vd. [33], [34] çalışmalarında, doymuş ve kayıplı kanal koşullarında sınırlı sayıda düğüm ile IEEE 802.15.6 standardının farklı öncelik sınıfları için verimini, enerji tüketimini ve gecikmesini tahmin etmek için bir analitik model sunmuşlardır. Farklı öncelikleri ile düğümleri farklılaştırarak kanala hızlı ve öncelikli erişimi sağlayan CSMA/CA rastgele erişim tekniği seçilmiştir.

Rashwand vd. [35] çalışmalarında, doymamış ve hata eğilimli bir kanal altında çalışan IEEE 802.15.6 KVAA mimarisi için analitik bir model önermişlerdir. Ağ performansını iyileştirmek için en uygun aracın, farklı kullanıcı öncelikleri (UP) için trafik yüklerine

dayalı erişim fazı uzunluklarının seçimi olduğu, tipik bir KVAA'da özel erişim fazının (EAP) konuşlandırılmasının gerekli olmadığı bulunmuştur. Özel ve rastgele erişim fazları (sırasıyla EAP ve RAP) mevcut bant genişliğinin yetersiz kullanılmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Son olarak dört farklı önceliğin (mevcutta sekiz öncelik var), KVAA için yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Rashwand vd. [36] çalışmalarında doyma koşulu ve hataya açık kanal altında IEEE 802.15.6 tabanlı KVAA'nın performans değerlendirmesi için analitik bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada geri dönüş (backoff) fonksiyonunu olasılıksal bir yaklaşım kullanarak modellemişlerdir. Analitik modelin sonuçlarına göre doyma koşullarında ortamın çoğunlukla en yüksek önceliğe sahip olan düğümler tarafından kullanıldığını göstermektedir. Daha düşük öncelikli diğer düğümlerin ise açlık çektiği görülmüştür.

Sarkar vd. [37], [38] çalışmalarında, doyma koşulu altında IEEE 802.15.6 CSMA/CA tabanlı KVAA'nın güvenilirliğinin ve verimliliğinin doğru analizi için ayrık zamanlı Markov modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada bir düğümün paketini iletmesinden sonra zaman aşımına kadar, onaylama çerçevesini beklemek için harcadığı zamanı dikkate almış ve buna göre bir model önermişlerdir.

Al-Mazroa ve Rikli [39] çalışmalarında, IEEE 802.15.6 standardında düğüm türlerini, sayılarını, trafik ve enerji gereksinimlerini dikkate alarak çeşitli OEK tekniklerini uygun bir şekilde bütünleştirmeye çalışmışlardır. Önerilen çalışmanın verimlilik, gecikme ve enerji tüketimi gibi performans sonuçları incelenmiştir.

Xu vd. [40] çalışmalarında IEEE 802.15.6 OEK standardının performans sonuçlarını doyma ve hataya açık kanal altında gecikme, iş çıkarım ve enerji tüketimi metrikleri ile analiz etmişlerdir. Matlab ve OPNET benzetim programları kullanılarak iki benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Pil kurtarma etkileri dikkate alınarak yapılan çalışmada en fazla %13 oranında tasarruf sağlanabildiği gösterilmiştir.

Kirbas vd. [41], [42] çalışmalarında KVAA'lar için çok kanallı haberleşmeyi destekleyen, enerji etkin yeni bir OEK katmanı (isMAC) tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Önerilen tasarımın gerçek zamanlı uygulamasının başarımını tespit etmek amacıyla hem yeni bir kablosuz algılayıcı düğüm (isMOTE) geliştirilmiş hem de toplanacak verilerin takip edilebilmesi için bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir.

Sevin [43] çalışmasında, KVAA'lar için yeni bir OEK protokolü tasarlamıştır. Bu protokolün ISO/IEEE 11073 standartlarına göre servis kalitesi gereksinimini

karşılatabilmek amacıyla katmanlar arası mimariden yararlanmıştır. Bu tez çalışmasında yeni bir zaman-dilimi tahsis şeması, öncelik mekanizması, kabul kontrol mekanizması ve katmanlar arası mimari geliştirilmiştir.

1.3. TEZ ORGANİZASYONU

Tez çalışması aşağıda verilen bölümler şeklinde organize edilmiştir. Birinci bölümde, KVAA ve YTA ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra tezin amaç ve kapsamı açıklanarak, bu konuda literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde, tez kapsamında kullanılan KVAA, IEEE 802.15.6 ve ISO/IEEE 11073 medikal cihazlar için bir dizi medikal uygulama sınıfları hakkında bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, YTA yaklaşımı, yazılım tanımlı kablosuz ağlar ve OpenFlow ağ ara yüz protokolü hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, geliştirilen YT-KVAA mimarisi ile önerilen yeni algoritmalar hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. YT-KVAA mimarisinde kullanılan IEEE 802.15.6 standardı, geliştirilen HUBsFlow ağ ara yüz protokolü, denetleyici üzerinde çalışan enerji duyarlı yönlendirme algoritmaları (SDNRouting, ESR-W), bulanık mantık temelli ağ geçidi seçim algoritması, özgül emilim oranına dayalı dinamik HUB seçim algoritması ile bu algoritmaların çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Beşinci bölümde, YT-KVAA mimarisi için geliştirilen tüm algoritmalar örnek senaryolar üzerinden gerçekleştirilen ağ başarımlarını değerlendirmeleri (iş çıkarım oranı, gecikme, enerji tüketimi, paket kayıp oranı, bit hata oranı ve başarılı iletim oranı) sunulmuştur. Benzetim sonuçları ve başarımlarını değerlendirmesi AODV gibi standart algoritmalar ve farklı senaryolar ile karşılaştırılarak verilmiştir. Son olarak geliştirilen mimarinin önemi ve alana katkısı vurgulanarak, gelecek çalışmalara ışık tutacak yeni önerilere yer verilmiştir.

2. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI

Elektronik aygıtlar ile kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler büyük ölçekli, düşük güçlü, düşük maliyetli ve çok fonksiyonlu kablosuz ağların gelişmesine katkı sunmuştur. Bir kablosuz algılayıcı ağı (KAA), dağıtık algılama görevlerini gerçekleştirebilmek için kablosuz bağlantıları kullanan bir grup algılayıcı düğümden oluşmaktadır. Bu düğümler genel olarak gömülü bir mikroişlemci, sınırlı bellek kapasitesi, kablosuz alıcı-verici antenleri, bir veya daha fazla algılayıcı ve oldukça küçük güç kaynaklarından oluşmaktadır. Bu algılayıcı düğümler, kendi kendini düzenleyebilmekte, belli bir alanda yoğun bir biçimde bulanabilmekte ve algıladıkları verileri baz istasyonuna iletebilmektedir. KAA teknolojisi endüstriyel, tıbbi ve askeri uygulamalar gibi değişen senaryolarda birçok uygulama için büyük potansiyele sahiptir.

Artan insan nüfusu nedeniyle, sürekli sağlık bakım hizmetlerine olan taleplerin ve sağlık hizmetlerindeki maliyetlerin artışı Kablosuz Vücut Alan Ağ (KVAA) teknolojilerine olan ilginin artmasını sağlamıştır. KAA mimarisi, belirli uygulamalara ve senaryolara katı bir biçimde bağlıyken, KAA mimarisinin bir alt dalı olan KVAA, daha çok kablosuz vücut takip sistemlerinin tüm gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilen bir teknolojidir. KVAA mimarisi akıllı, küçük boyutlu, düşük maliyetli, düşük güçlü, hafif, giyilebilir kişisel ağ aygıtları olan kablosuz heterojen algılayıcı düğümlerinden oluşmaktadır [44]. Bu tıbbi algılayıcılar kalp hızı, kan basıncı, glikoz seviyesi, vücut sıcaklığı ve solunum hızı gibi birçok önemli fizyolojik parametreleri ölçebilme, işleyebilme ve kablosuz iletişim yoluyla iletebilme yeteneklerine sahiptir [45]. Bu yetenekler, insan sağlığı için olumsuz bir durumu tahmin etmeye, erken teşhis etmeye ve hızlı tedavi etmeye olanak sağlamaktadır. KVAA kişinin sağlık durumunu normal aktivitelerini sınırlamadan, doğal fizyolojik şartlar altında uzun süreli olarak izleme imkânı sunabilmektedir [44]–[46].

KVAA mimarisindeki algılayıcı düğümler, insan vücudundan çeşitli fizyolojik sinyalleri ölçerek, koordinatör düğüm adı verilen bir kontrol cihazına göndermektedir [42]. Bu işlem, bir kişinin gerçek zamanlı sağlık gözetimini sağlaması ve acil durumlarda uygun tedavi imkânı sunması açısından oldukça faydalı bir yaklaşımdır. Az sayıda algılayıcı düğüm, düşük mesafeli iletişim, kolay bakım ve daha rahat erişilebilir güç kaynakları bakımında KVAA mimarisi KAA mimarisine göre farklılık göstermektedir. Çizelge

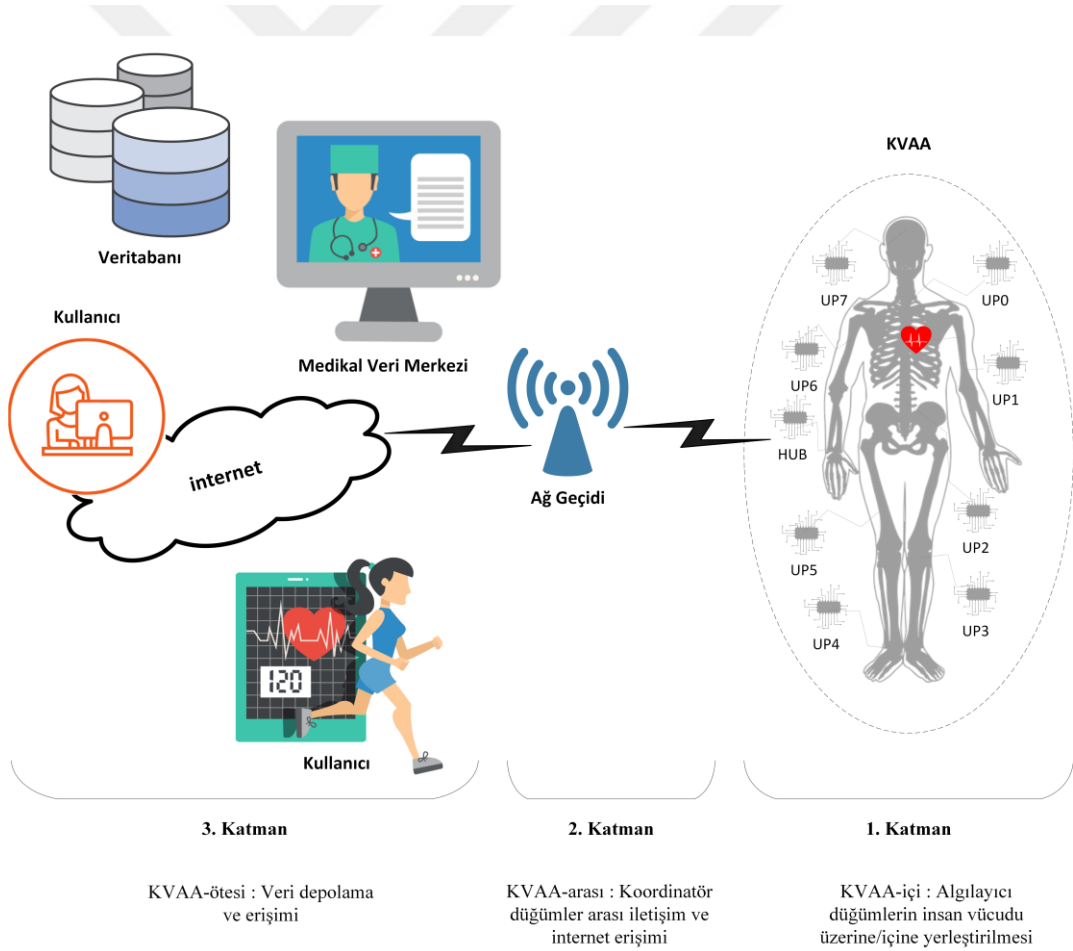
2.1’de KAA ile KVAA arasındaki farklar detaylıca verilmiştir [47].

Çizelge 2.1. KAA ile KVAA arasındaki farklar.

Özellik	KAA	KVAA
Mesafe	Çevresel takip (m/km)	Vücut içi/yüzeyi (cm/m)
Düğüm sayısı	Yüzlerce	Onlarca
Düğüm boyutu	Özel gereksinim yok	Olabildiğince küçük
Veri hızı	Homojen	Heterojen (Yüksek)
Veri kaybı	Tolere edilebilir	Tolere edilemez
Düğüm yerleşimi	Kolay	Zor
İnsan vücuduna uyumluluk	Dikkate alınmaz	Dikkate alınması zorunlu (SAR)
Düğüm yaşam süresi	Aylar/yıllar	Ne kadar uzun o kadar iyi
Topoloji	Değişmez	Değişken
Düğüm enerjisi	Sınırlı, fakat değiştirilebilir	Sınırlı, bazı durumlarda değiştirilmesi zor
Güvenlik	Düşük	Çok yüksek
Standart	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.6

IEEE 802.15.4, 802.15.3 ve 802.11 gibi mevcut standartlar medikal (vücut dokusuna yakınlık) gereklilikleri ve ISO/IEEE 11073 servis kalite gereksinimleri ile ilgili iletişim düzenlemelerini desteklemedikleri [36], IEEE 802.15.6 standardına göre sınırlı veri hızı ve yüksek enerji tüketimi de olmak üzere birçok nedenden dolayı [48], [49] KVAA mimarisi için uygun olmadığı görülmektedir. Yine bu standartlar, KVAA uygulamalarının geniş bir yelpazede uygulanabilmesi için gerekli düşük güç, güvenilirlik, servis kalite gereksinimi, yüksek veri hızı gibi gereksinimleri bir arada da destekleyememektedir. KVAA teknolojisinin tüm gereksinimlerini karşılayabilen uygun bir kablosuz standardın bulunmaması nedeniyle, IEEE 802.15 çalışma grubu, IEEE 802.15.6 [50] olarak bilinen bir iletişim standardını geliştirmek için 2007 yılında Görev Grubu 6’yı (TG6) kurmuştur. Grubun amacı, çeşitli tıbbi, eğlence ve tüketici uygulamalarına yönelik kısa mesafeli ve düşük güçlü vücut üzerinde/içindeki algılayıcı düğümler için optimize edilmiş bir iletişim standardı oluşturmaktır. IEEE 802.15.6 standardı, KVAA mimarisinin farklı önceliklerini ve özelliklerini ele almak için tasarlanmıştır. Bu nedenle, KVAA için geliştirilen çözümlerin, IEEE 802.15.6 standardına uyumlu olması önemli bir beklentidir.

Şekil 2-1’de KVAA mimarisinin katmanlı ağ yapısı verilmiştir. KVAA mimarisi KVAA-içi, KVAA-arası ve KVAA-ötesi olmak üzere üç katmanlı olarak ele alınmaktadır. KVAA-içi katmanı, algılayıcı düğümlerin insan vücudu üzerine/içine yerleştirildiği ve bu düğümlerin koordinatör düğüme (IEEE 802.15.6 standardında bu düğüme HUB adı verilmektedir) bağlı olduğu katmandır. Burada HUB düğümü, kendisine bağlı tüm algılayıcı düğümlerin kontrol ve yönetim işlemlerinden sorumludur. KVAA-arası olarak isimlendirilen ikinci katman ise HUB düğümlerinin paketlerini hedefe iletebilmesi için aracı ağ cihazları (erişim noktası ya da ağ geçidi) ile HUB düğümlerinin birbiri arasındaki iletişimlerin yürütüldüğü katmandır. WLAN, WiMax, LTE, veya Satellite gibi teknolojiler bu katmanındaki cihazlar arası haberleşmede kullanılabilir. Son olarak KVAA-ötesi olarak isimlendirilen üçüncü katman, verilerin uzak veri tabanı sistemlerinde depolandığı, gerekli durumlarda medikal birimler ya da ilgili kullanıcılar tarafından erişilebildiği katman olarak ifade edilmiştir [45], [49].



Şekil 2-1. KVAA mimarisinin katmanlı ağ yapısı.

Bir KVAA sisteminde bulunması gereken temel özellikler; işlevsellik, giyilebilirlik,

dağıtım kolaylığı, dayanıklılık, güvenilirlik ve diğer sistemlerle birlikte çalışabilirlik olarak sıralanmaktadır [1], [51], [52]. KVAA içerisinde yer alan kablosuz düğümlerin kullanıcı konforu ve taşınabilirlik açısından mümkün olduğunca küçük ve hafif olması istenmektedir. Ancak kablosuz algılayıcı düğümlerin enerji kaynağı olan pillerin kapasitesi ise hacimleri ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla algılayıcı düğüm ömrünün, pil ebatları arttırılmadan, uzatılabilmesi için enerji tüketiminin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, araştırmacılar ağırlıklı olarak, insan vücudu üzerinden enerji elde edilmesi [46], [53], daha az enerji tüketimini destekleyen haberleşme algoritmalarının geliştirilmesi [41], [54] ve donanımların enerji tüketim değerlerinin düşürülmesi gibi çözüm yöntemleri üzerine çalışmaktadır [55]. Şekil 2-1’de de verilen KVAA-içi, farklı görevleri ve öncelikleri olan algılayıcı düğümler ile bu algılayıcı düğümleri yöneten, verilerini toplayan ve bu verileri gerekli yerlere gönderen bir koordinatör düğümden oluşmaktadır.

KVAA uygulamalarının amaçlarından biri, çok fazla sayıda kişinin bulunduğu sağlık ortamlarında, bireylerin gerçek zamanlı ve sürekli takip edilmesidir. Çok sayıda hastanın fizyolojik sinyallerinin kablosuz olarak takibi, sağlık sisteminde kablosuz algılayıcı ağının uygulanabilmesi için önemli gerekliliklerden biridir. Bu tarz uygulamalarda, yazılımsal ve donanımsal tasarım açısından birtakım sorunlarla karşılaşmaktadır. Algılayıcılar arasındaki sinyal çarpışmalarını en aza indirerek güvenli iletişim sağlanması, diğer kablosuz aygıtlar tarafından oluşacak parazitlerden kaçınılması, düşük güç tüketimi ve maliyetin düşürülmesi, hastalara daha çok hareket alanı sağlanması bunlardan en önemlileridir. KVAA temelli kablosuz medikal algılayıcı ağ sistemi, medikal merkezlere uygulandığında hastaların yaşam kalitesinin arttırılması ve daha iyi rehabilitasyon sağlanması açısından geleneksel kablo temelli hasta veri toplama modellerine nazaran oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca KVAA sistemi, medikal çalışanların iş yükünün azaltılması, sağlık giderlerinin düşürülmesi ve bu sayede verimliliğin arttırılması gibi önemli faydalar da sağlamaktadır.

KVAA doğası gereği ağ ortamı, fiziksel katman ve OEK katmanı ile ilgili bir takım zorluklara sahiptir. Çoğunlukla karşılaşılan zorluklardan bazıları; KVAA mimarisinde vücut emilim değerlerinin yüksek olması nedeniyle verilerin yol kaybına uğraması, çoklu atlama ve çeşitli konumlardaki farklı algılayıcı düğümler nedeniyle oldukça heterojen bir mimariye sahip olması, çoklu yol ve hareketlilik durumlarından dolayı kanal modellerinin oldukça karmaşık olmasıdır. KVAA’nın mevcut mimarisi kaynakları verimli

kullanamamaktadır. Donanımlardaki yerleşik kontrol mantığı nedeniyle, kaynak kullanımı dinamik olarak kontrol edilememektedir [12].

KVAA mimarisinde enerji verimliliği, ağ ömrünün daha uzun olmasına imkân tanınmasının yanı sıra algılayıcı düğümlerinin çok ısınması ve dolayısıyla insan derisine zarar verme potansiyeline sahip olması bakımından da önem arz etmektedir. Genel olarak vücuda bağlanan algılayıcı düğümler, pille çalışan cihazlar olduğu için yaşam süreleri de oldukça sınırlıdır. OEK tekniği, KVAA mimarisinde enerji verimliliği açısından önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, KVAA için kullanılacak OEK tekniği enerji duyarlı mekanizmalara sahip olmalıdır. Aynı zamanda medikal uygulamalarda kullanılabilir olması, düşük güçte çalışan akıllı algılayıcı düğümler ile uyumlu olması da yine önemli beklentiler arasındadır. Geleneksel OEK teknikleri daha çok iş çıkarım oranını arttırmak ve bant genişliğini verimli kullanmak için tasarlanmıştır. Bu tekniklerin en önemli eksiği enerji verimlilik mekanizmalarını göz ardı etmeleridir. Boşa harcanan enerji kaynaklarını kontrol altına alarak, ağ yaşam süresinin uzatılması KVAA mimarisi için önemli bir katkı sağlayacaktır [48], [49], [55]–[57].

OSI modelinin ikinci katmanı olan veri bağı katmanının bir alt katmanı OEK katmanıdır. Bu alt katman kanal erişim kontrolü, iletim metotları, veri çerçeveleme, hata işleme ve enerji yönetimi gibi bir takım görevleri içermektedir. Bu bağlamda enerji verimliliği sorununu çözmek için en uygun katman olarak düşünülmektedir. Kablosuz ağlardaki enerji israfının genel nedenleri ise şu şekilde ifade edilmektedir [57];

- Paket çarpışmaları: Birden fazla paket aynı zamanda iletildiğinde oluşmaktadır. Çarpışan paketlerin yeniden iletimi ek enerji tüketimi gerektirmektedir.
- Boşta dinleme: Bir düğümün veri göndermek için boş bir kanalı dinlemesi durumunda ortaya çıkmaktadır.
- Aşırı dinleme: Bir düğüm, diğer düğümlere gelen paketleri için de kanalı dinlediğinde ortaya çıkmaktadır.
- Aşırı paket iletimi: Veri iletişim işlemini yürütmek için kullanılan kontrol paketlerinin fazlalığı da güç tüketimini arttırmaktadır. Bu bağlamda KVAA için geliştirilen yeni çözümlerde yukarıda ifade edilen sorunların göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

2.1. IEEE 802.15.6 STANDARDI

Bu bölümde, IEEE 802.15.6 tabanlı KVAA standardının temel özellikleri açıklanmıştır. Bu standardın OEK ve fiziksel katman özellikleri, farklı iletişim yöntemleri ve erişim mekanizmaları açıklanmıştır. Daha detaylı özellikler ise [50] numaralı referansta bulunmaktadır.

IEEE 802.15.6 standardı, insan vücudunu saran küçük aygıtlar arasındaki kısa mesafeli kablosuz iletişimde servis farklılıklarına çözüm olması amacıyla geliştirilmiştir. Fiziksel ve veri bağı katmanlarında çalışan bu standart bir atlamalı ve iki atlamalı yıldız topolojilerini desteklemektedir. Bir atlamalı yıldız topolojisinde, çerçevelerin değişimi doğrudan algılayıcı düğümleri ve HUB düğümü arasında gerçekleşmektedir. İki atlamalı yıldız topolojisinde ise HUB düğümü ve algılayıcı düğümler arasında paket alışverişi için röle özellikli aracı düğümler kullanılabilir.

IEEE 802.15.6 standardı, dar bant, ultra geniş bant ve insan vücudu haberleşme bandı olmak üzere üç farklı fiziksel katman standardı ve genel bir çerçeve yapısı tanımlamaktadır. Dar bant katmanı, 402 MHz – 2483.5 MHz aralığında ve 971.4 Kbit/sn'ye kadar tolerans göstermektedir. İnsan vücudu haberleşme bandı katmanı 5 MHz – 50MHz aralığında 1312.5 Kbit/sn'ye kadar desteklemektedir. Ultra geniş bant katmanı ise 3100 MHz – 10600 MHz aralığında ve 1114 Kbit/sn'ye kadar farklı veri hızları için etkili olmaktadır [50]. Bu fiziksel katmanlar arasındaki seçim uygulamaya, gerekli veri hızlarına ve mevcut frekans bantlarına göre yapılmaktadır. Fiziksel katman özellikleri veya frekans bantlarının doğru seçimi KVAA mimarisinin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken önemli konulardan biridir. Farklı ülkelerdeki iletişim otoriteleri tarafından KVAA'lar için frekans bantları düzenlenebilmektedir.

IEEE 802.15.6 standardına göre, ağdaki her bir HUB düğümüne bağlı algılayıcı düğümlerinin tümü, KVAA olarak adlandırılan mantıksal kümeler halinde düzenlenmektedir. Bir KVAA, yalnızca bir HUB düğümü ve $m_{\text{MaksKVAA}} \text{Sayısı}$ (genellikle 64 olarak ele alınır) bağlı algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır [50]. Bir HUB düğümü, zamanı eşit uzunlukta birden fazla süper çerçeveye bölmektedir. Her süper çerçeve, veri iletimi için kullanılan bir dizi tahsis yuvasına bölünmüştür.

2.1.1. IEEE 802.15.6 İletişim Yöntemleri

KVAA mimarilerinde farklı durumlar için uygun sonuçlar almak amacıyla IEEE 802.15.6

ağı aşağıdaki üç erişim yönteminden birinde çalışabilmektedir. Bunlar işaret paketli süper çerçeve, işaret paketsiz süper çerçeve ve işaret paketsiz süper çerçevesiz yöntemleridir [50]. Bu yöntemlerin her birinde, hedeflenen uygulamanın özel gereksinimlerini daha iyi karşılayacak bir süper çerçeve (superframe) yapısı tanımlanmıştır. IEEE 802.15.6 standardı yaşamsal sağlık uygulamaları için kullanıldığında, acil verileri göz önünde bulundurarak alınan bilgilerin sıralanmasını ve çeşitli uygun zaman periyodları boyunca servis kalite gereksinimlerini sağlamak durumundadır.

2.1.1.1. *İşaret Paketli Süper Çerçeve Yöntemi*

Bu yöntemde, HUB düğümü zaman dilim tahsislerini sağlamak için her aktif süper çerçeve başlangıcında işaret paketi (Beacon) göndermektedir. Aktif süper çerçeveleri, zamanlanmış bir iletim olmadığında, aktif olmayan süper çerçeveler takip edebilmektedir. Her bir süper çerçeve çeşitli erişim fazlarına (EF) bölünmüştür. Şekil 2-2'de de görüldüğü gibi bunlar; acil erişim fazı (EAP1, EAP2), rastgele erişim fazı (RAP1, RAP2), yönetim erişim fazı (MAP) ve çekişmeli erişim fazlarıdır (CAP). EAP'lar yüksek öncelikli ağ trafiği için kullanılırken, RAP'lar tekrarsız transferler için kullanılmaktadır. CAP ise çekişmeli erişim için kullanılmaktadır. RAP1 dışındaki diğer erişim fazları isteğe bağlıdır. CAP erişim fazı kullanılmak istenmiyorsa HUB düğümü B2 işaret paketini ortama göndermemektedir. EAP1 kullanılacaksa, işaret paketinden hemen sonra bu faz başlamalıdır. Bu faz yalnızca acil durumları veya tıbbi olay raporları gibi öncelikli düğümler tarafından kullanılabilirken, RAP ve CAP tüm öncelik düğümler tarafından kullanılabilir. MAP erişim fazında HUB düğümü zamanlı ya da zamansız bağlantı tahsis aralıklarını düzenleyebilmekte ve Tip I ya da Tip II sorgulamalı tahsis aralıkları sağlayabilmektedir.

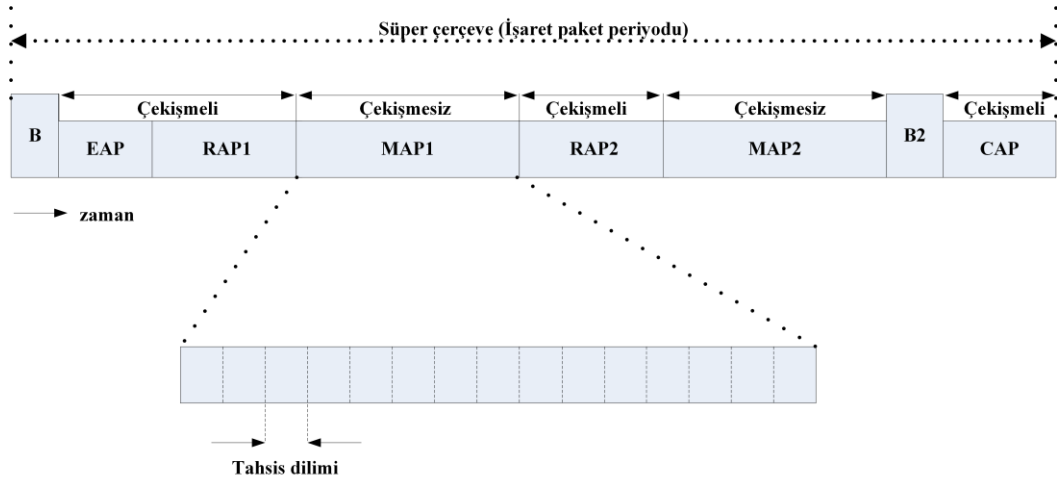
2.1.1.2. *İşaret Paketsiz Süper Çerçeve Yöntemi*

Bu erişim yönteminde, HUB düğümü yalnızca MAP fazlarında çalışmaktadır. HUB düğümü, işaret paketi göndermeksizin süper çerçeve yapısını T-Poll çerçeveleri vasıtasıyla iletmekte ve tüm süper çerçeve süresi Tip I veya Tip II erişim fazından oluşmaktadır. HUB düğümü yoklama paketleri ile düğümlerin ağa bağlanmasını sağlamaktadır.

2.1.1.3. *İşaret Paketsiz Süper Çerçevesiz Yöntem*

Bu erişim yönteminde, her düğüm bağımsız olarak kendi zaman dilimini oluşturmaktadır. HUB düğümü programlanmamış Tip II yoklamalı (ya da kaydedilmiş) tahsisi ya da her

ikisinin bir kombinasyonu ile düğümleri yönetmektedir. Düğümler sınırlı sayıda çerçeve iletilmektedir.



Şekil 2-2. Süper çerçeve erişim aşamaları.

2.1.2. IEEE 802.15.6 Erişim Mekanizmaları

Bu standartta paylaşılan ortam için çeşitli erişim mekanizmaları tanımlanmıştır. Bunlar rasgele erişim, hazırlıksız ve planlanmamış erişim ile planlı erişimdir [50].

- Rastgele erişim tekniği (Çekişme bazlı): Bu teknikte iki rastgele erişim protokolü önerilmiştir. Eğer dar ya da ultra geniş bant fiziksel katmanları seçilmişse paylaşılan ortama erişmek için çekişme bazlı CSMA/CA, eğer insan vücudu haberleşme ya da ultra geniş bant fiziksel katmanları seçilmişse Slotted Aloha çoklu erişim teknikleri kullanılabilir.
- Hazırlıksız, planlanmamış erişim tekniği: Bu teknikte, koordinatör düğüm komutlarından biri olan bildirme veya veri talep komutu olan tarama işlemleri ile planlanmamış erişim aracılığıyla ağ yönetilmektedir. Burada düğümler veri göndermeden önce uyanık olmalı ve koordinatör düğümden bildirme ya da tarama çerçevesi beklemelidir.
- Planlı erişim tekniği (Çekişmesiz): Düğümlerin her süper çerçevede veya belli periyodik aralıklarla koordinatör düğüm ile çerçeveleri değiştirdiği ve transferler arasında uyku moduna geçmesini sağladığı tekniktir. Bu fazda, düğümler kendilerine ayrılmış zaman dilim süresi başladığı zaman veri transferlerine başlayabilmektedirler.

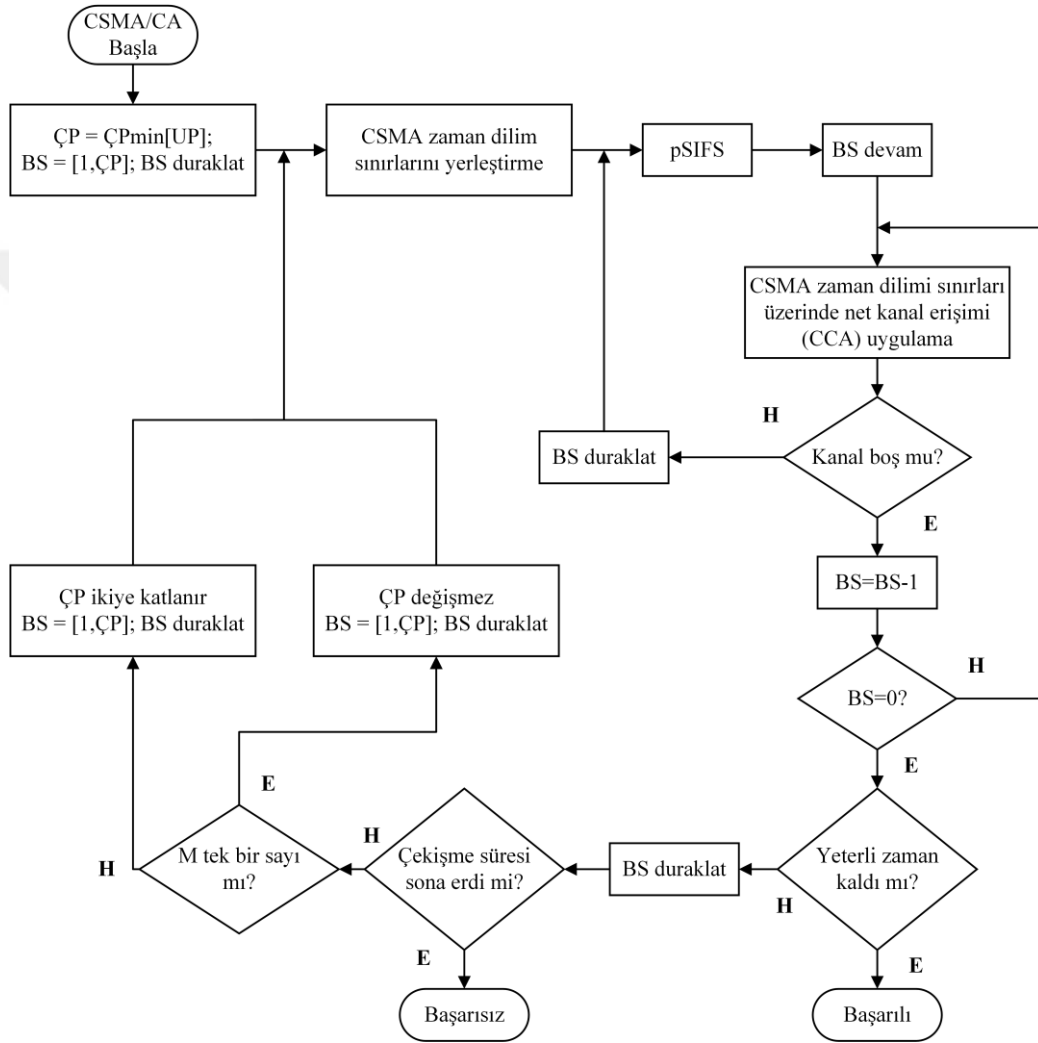
2.1.2.1. CSMA/CA Protokolü

CSMA/CA çoklu erişim tekniği IEEE 802.11 standardı için geliştirmiş bir OEK tekniğidir. Bu teknik, düğümlerin ağda paylaşılan ortamda neler olduğunu tespit edebilmesine imkân sunan sezme mekanizmalarına sahiptir. Düğümlerin paylaşılan ortamı dinleyebilme ve tespit edebilme becerileri bulunmaktadır. Ağdaki her düğümün paylaşılan iletim ortamına erişmek ve kullanmak için eşit hakları sahip olduğu çoklu erişim imkânı bulunmaktadır. Bir düğüm verisini iletmeye önce ortamı kontrol etmekte ya da dinlemektedir. Ortam meşgul değilse düğüm verisini gönderebilmektedir. Eğer ortamın kullanıldığı tespit edilirse, düğüm verisini gönderebilmek için rastgele bir zaman dilimi ile geri çekilecek (backoff procedure) ve sonra tekrar deneyecektir. Kablosuz ortamlarda bir düğümün çarpışmayı tespit etmesi oldukça zordur. Bu bağlamda CSMA/CA çarpışma olmadan önce bunu önlemeye çalışan bir mekanizmaya (RTS/CTS) sahiptir. Bu mekanizma paket gönderme isteği ve paket gönderimi için ortamın uygun olduğunu ifade eden paket alış verişi olarak gerçekleşmektedir. Ortama erişmek isteyen bir düğüm, yukarıda bahsedilen adımları geçtikten sonra paketlerini hedefe gönderebilmektedir.

IEEE 802.15.6 standardında kullanılan CSMA/CA, KVAA mimarisi için farklılaştırılmış bazı aşamaları barındırmaktadır. Bunlardan biri geri çekilme aşamasındaki önceliklendirme için oluşturulmuş alternatif geri çekilme ikili üstel fonksiyonudur (Alternative Backoff Binary Exponential Procedure) [48]. Bu bölümde CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6'nın çalışma mekanizması kısaca açıklanmıştır. Daha ayrıntılı bilgiler ise IEEE 802.15.6 standardında [50] bulunmaktadır. Koordinatör düğümüne gönderilecek bir paketi olan düğüm, yeni bir koşullu zaman dilimi için çekişme penceresini (ÇP_{\min} , ÇP_{\max}) ve geri çekilme sayacını $[1, \text{ÇP}]$ tutmaktadır. ÇP_{\min} ve ÇP_{\max} değerleri UP'lere göre seçilebilmektedir. En yüksek öncelikli UP'ler acil durum olaylarını en az gecikme ve kayıpsız olarak hedefe iletmek amacıyla kanala erişim olasılığını artıran küçük ÇP değerine sahiptir. Paket göndermek için çekişen düğümler, çarpışma olasılığını en aza indirmek amacıyla eşit olarak dağılmış bir aralık $[1, \text{ÇP}]$ üzerinden rastgele bir tamsayı ile geri çekilme sayacını ayarlamaktadır.

Şekil 2-3'te IEEE 802.15.6 standardı için CSMA/CA algoritmasının akış diyagramı [58] verilmiştir. Çekişme pencereleri düğümlerin ağ ortamındaki paket iletim durumlarına göre değişmektedir. Eğer düğüm daha önce herhangi bir çekişme tahsisi almadıysa, paketini başarılı bir biçimde ilettiyse ya da paket ilettikten sonra ACK onayı

gerektirmiyorsa ÇP değerini ÇPmin değeri olarak ayarlamaktadır. Eğer düğüm paket iletiminde başarısız olmuşsa ya da ilettiği son paket için ACK onayını ilgili süre içinde alamadıysa tek sayıda iletim hataları için ÇP değeri değiştirilmeden tutulurken, çift sayıda iletim hataları için ÇP değeri ikiye katlanmaktadır. Eğer ÇP değerinin ikiye katlanması sonucu ÇPmaks [UPi] değerini aşarsa düğüm ÇP değerini ÇPmaks [UPi] olarak ayarlamaktadır [50].



Şekil 2-3. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 veri iletim akış diyagramı.

2.2. ISO/IEEE 11073 KİŞİSEL SAĞLIK VERİ STANDARTI

ISO/IEEE 11073 medikal cihazlar için bir dizi medikal uygulama sınıfları tanımlamaktadır. ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı; tansiyon, kan, glikoz monitörleri ve benzeri kişisel sağlık cihazlarının birlikte çalışabilirliğini belirleyen bir grup standarttır. Son zamanlarda önemi artan kişisel kullanım ve daha basit iletişim

modeli cihazlarının yaygınlaşması nedeniyle, bir standart ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, bu cihazların birlikte çalışabilirliğini sağlamaya yönelik bir adım olan ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı KVAA mimarisinde önemli bir yer almaktadır. Çizelge 2.2’de ISO/IEEE 11073 standardının desteklediği bant genişliği ile gecikme değerleri verilmiştir [43], [55], [59]. Bu tez çalışmasında önerilen mimari (YT-KVAA) için gerekli servis kalite gereksinimleri bu bilgiler ışığında elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.2. ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı medikal uygulama sınıfları.

Sınıf: Veri Tipi	Gecikme	Bant genişliği
A: Alarm / Uyarı / Konumsal uyarılar (Gerçek zamanlı)	A1: < 200ms ve A2: < 3 s	Alarm başına: 64 bayt
B: Hasta Durumu	< 3 s	Alarm başına: 64 bayt
C: Algılayıcı (Gözetim / Kalp Atışı)	< 60 s	Saat başına: 64 bayt
D: Hatırlatıcı	< 3 s	Alarm başına: 1632 bayt
E: Fizyolojik Parametreler (kan basıncı, kalp atış hızı, sıcaklık)	< 3 s	E1: 10 bayt, E2: 100 bayt
		ECG
F: Telemetry Dalga Şekli (Gerçek zamanlı)	< 300ms	(F1: 3-prob 2,4 kbit/s, F2: 5-prob 10 kbit/s, F3: 12-prob 72 kbit/s), F4: Solunum cihazı: 50-60 bps, F5: SpO2: 50-120 bit/s

3. YAZILIM TANIMLI AĞLAR

Bilişim dünyasında her şey hızla gelişirken, ağ altyapısı son 20 yıldır aynı şekilde yönetilmekte ve yapılandırılmaktadır. Bu bağlamda geleneksel ağ mimarisi yıllar önce inşa edilmiş altyapısıyla günümüz taleplere cevap veremeyeceği açıkça görülmektedir. Günümüz ve gelecek teknolojileri için nesnelerin interneti, 5G gibi yeni yaklaşımlarla birlikte tüm cihazların ağ altyapısını bir şekilde kullanması beklenmektedir. Bu kapsamda tüm bu cihazların taleplerine cevap vermek, yenilikleri dinamik olarak karşılamak mevcut ağ altyapısı ile mümkün görünmemektedir. Ayrıca mevcut ağ altyapısı, büyük ölçekli verileri işleyebilmek için sürekli daha karmaşık hale gelmektedir. Mevcut karmaşık ağ mimarisinin sınırlamalarını kaldırmak amacıyla ağ yönetim işlemlerinin gereksinim duyduğu yoğun hafıza ve hesaplama karmaşıklığını ortadan kaldırmayı amaçlayan yeni fikirler ortaya çıkmaktadır.

Son zamanlarda yukarıda ifade edilen problemlere çözüm olacak Yazılım Tanımlı Ağ (YTA) adı verilen yeni bir ağ yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım, bilgisayar ağlarında esnek kontrol imkânı sunabilmek amacıyla, mantıksal olarak merkezi ve yazılımsal bir kontrol birimi olan denetleyici mekanizmasını öne sürmektedir. Denetleyici, standart bir ağ ara yüz protokolü (OpenFlow) aracılığıyla tüm ağın davranışlarını düzenleyebilme ve üst düzey ağ politikalarını uygulayabilme yeteneklerine sahiptir. Kontrol ve veri düzlemini birbirinden soyutlayan bu yaklaşım, ağ cihazlarının hesaplama ek yükünü azaltarak genel optimizasyon imkanı sunmaktadır [2], [60], [61].

Şekil 3-1 a)'da geleneksel ağ mimarisi gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, geleneksel ağ mimarisinde veri ve kontrol düzlemi tümleşik halde bulunmaktadır. Bu mimari, belli başlı görevleri gerçekleştirmek için uygulama bazlı tümleşik devrelerden oluşan yönlendiriciler, anahtarlayıcılar ve ara cihazlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, cihazlar bazı görevleri gerçekleştirebilmek için gerçek zamanlı olarak değiştirilemeyen farklı karmaşık kurallarla (protokoller) önceden programlanmıştır. Geleneksel ağ teknolojileri, uygulamaya özel gereksinimleri gerçek zamanlı olarak karşılamak için yeterli politikaları uyarlayamamaktadır [62]. Ayrıca temel bazı sorunları çözmek amaçlı geliştirilen protokoller yönetilmesi daha zor ve karmaşık yapıların oluşmasına neden olmaktadır.

Ağ altyapılarında kullanılan firmaya özel ağ cihazları, beraberinde firmaya özgü işletim sistemi ve kontrol uygulamalarının kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Yapılandırılmaların bu cihazlar üzerinde bulunan işletim sistemine bağlı olarak uygulanması bir zorunluluk haline dönüşmektedir. Mevcut ağ altyapısında, farklı firmalara ait cihazların kullanılması durumunda her cihaza ait farklı işletim sistemleri ile karşılaşılabilir. Firmaya özel cihaz mimarisi uygulama bazlı gereksinimlere göre dinamik yapılandırmayı daha zor ve daha uzun sürelerde gerçekleştirilmesine sebep olabilmektedir.

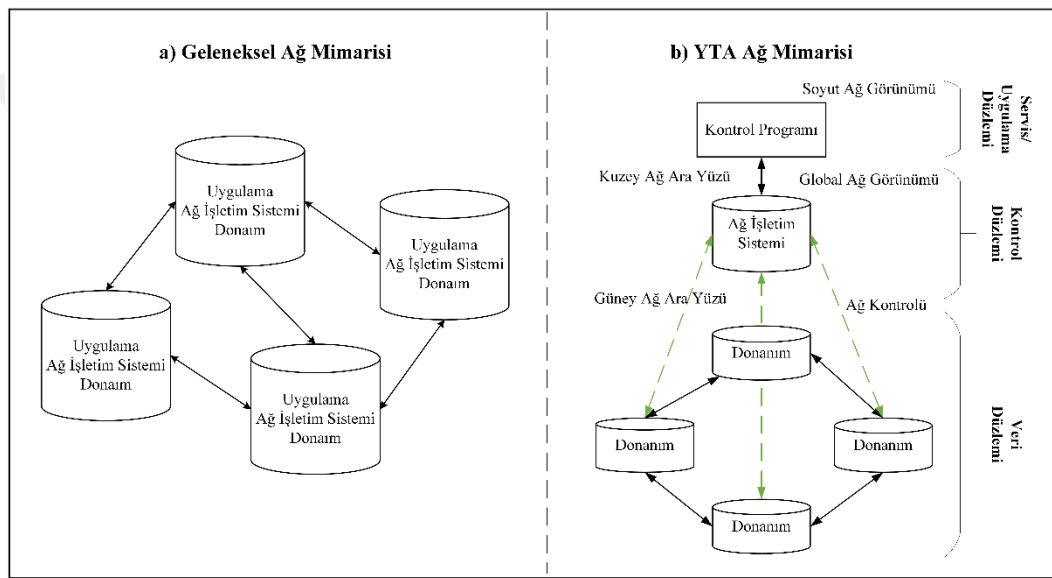
Geleneksel ağ altyapısında her bir üçüncü katman (L3) ağ cihazında binlerce satır kod çalışmaktadır. Tüm bu cihazlarda 10 GB'dan daha fazla geçici bellek (RAM) ihtiyacı doğuran milyonlarca mantık kapılarından oluşmaktadır. Dolayısıyla yönlendirme, kontrol ve yönetim uygulamalarında farklılık gösteren pahalı bir maliyete sahiptir. Genel ağ uygulamaları, temelde aynı işi yapmalarına rağmen işi yapma tarzları değişiklik gösterebilmektedir. Bu bakımdan her bir L3 ağ cihazının kendine özel donanım, işletim sistemi ve ağ uygulamalarına sahip olması heterojen, yönetilmesi zor ve karmaşık bir ağ alt yapısı meydana getirmektedir. Bu bağlamda geleneksel ağ altyapısı ile ilgili yukarıda bahsedilen sınırlamalara çözüm bulmak amacıyla, YTA olarak ifade edilen yeni bir ağ yaklaşımı önerilmiştir [63].

Şekil 3-1 b)'de görüldüğü gibi YTA, geleneksel ağ cihazlarında bütünleşik olan ağ uygulamaları ve işletim sistemi katmanlarının donanım katmanından ayrılmasını ön sürerek, paket iletim işlemini işletim sistemi ve ağ uygulamalarından ayıran ve son yıllarda giderek daha popüler hale gelen yeni bir ağ yaklaşımıdır. Bu yaklaşım ağın mantıksal bir merkezi noktadan yönetilebilmesine, kontrol ve yönetim işlemlerinin daha basit, dinamik ve esnek olmasına imkân sunmaktadır [2], [61], [64]–[66].

YTA mimarisinin veri düzleminde, birbirinden farklı L3 cihazlarının tümü basit birer iletim cihazlarına dönüştüğü görülmektedir. Bu cihazlar güvenlik duvarı, yönlendiriciler, yük dengeleyiciler olarak görev yapması için programlanırken, cihazların düşük seviyeli yapılandırma ara yüzlerine girmeden bu işlevlerin ağ işletim sistemi üzerinden gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Ağ işletim sistemi kontrol düzleminde bulunurken, uygulama düzleminde yük dengeleyici, güvenlik duvarı, yönlendirme, trafik mühendisliği gibi işlevler uygulanmaktadır. Tüm bu yaklaşım en temelde veri ve kontrol düzleminin birbirinden soyutlanmasını sağlamaktadır. Kuzey ara yüzü uygulama ve kontrol düzlemleri, güney ara yüzü kontrol ve veri düzlemleri arasında kullanılan iletişim

ara yüzleri olarak tanımlanmaktadır [66].

Ağ işlevleri sanallaştırması (NFV) [67], ağ fonksiyonlarının bazılarını ya da tümünü özel donanım platformlarından alarak genel donanım üzerinde çalışan sanal makinelere taşımayı amaçlayan bir ağ yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, gereksiz donanım maliyetini ortadan kaldırmayı, daha çevik ve esnek ağ hizmetleri sunmayı amaçlamaktadır. Ağ fonksiyonlarının sanallaştırılmasına imkân sunan YTA yaklaşımı güvenlik, yönlendirme gibi farklı ağ fonksiyonlarının sanal ağlarda uygulanmasına imkân sunmaktadır. Ayrıca YTA yaklaşımı, farklı ağ fonksiyon zincirlerinin akış kontrollerini yöneterek programlanabilir, çevik ve esnek bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 3-1. a) Geleneksel, b) YTA ağ altyapısı.

YTA, ağ cihazları için donanım, ağ işletim sistemi, servis ve ağ uygulamalarını aynı üretici firmadan alınmasını zorunlu kılacak yaklaşımı ortadan kaldıran, dikey entegrasyon imkanı sunmaktadır. Bu yaklaşım herhangi bir üretici firmaya ait ağ donanımının açık kaynak ve ücretsiz ağ işletim sistemi (Cumulus Linux gibi) ile kullanılabilmesini ve çeşitli ağ uygulamalarının yüksek seviyeli programlama dilleri aracılığıyla yazılıp uygulanabilmesini sağlamaktadır.

3.1. YAZILIM TANIMLI KABLOSUZ AĞLAR

YTA konusundaki çalışmaların çoğu kablolu ve çekirdek ağlara odaklanmış olsa da, kablosuz erişim ortamları için benzer bir yaklaşımın benimsenmesinin birçok faydaları

olacaktır. Özellikle kablosuz ağların kontrol düzleminin karmaşıklığı düşünüldüğünde YTA yaklaşımının sağlayacağı esneklik ile daha yüksek kazanımlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Günümüzde halen kablolu ağ altyapıları oldukça yaygındır. Ancak sürekli gelişim gösteren kablosuz ağ teknolojisi (802.11ay) 20 Gbps hızı, yeni güvenlik algoritmaları gibi sunduğu birçok yeni hizmetler ile bu durumu tamamen değiştireceğini göstermektedir. Kabloya ihtiyaç duyulmayan, kablosuz yerel alan ağ işletmelerini tamamen destekleyecek, kullanıcıların ihtiyaç duydukları içeriğe ve uygulamalara erişebilmek için kablosuz ağ mimarilerine güvenebilmelerini sağlayacak, bilişim teknoloji yöneticilerinin ağlarını gelecek nesil mobil uygulamalar için hazırlama gücüne sahip olacak, kablosuz ağ yöneticilerini zorlayan yıkıcı güçlere hitap eden yeni bir mimari gerekmektedir. Bu bağlamda, YTA mimarisinin kablosuz ağ teknolojilerine entegre edilmesi ile Yazılım Tanımlı Kablosuz Ağ (SDWN) yaklaşımı öne sürülmüştür [68], [69]. Bu mimari çekirdek ağın yanı sıra, heterojen mobil uç ağlar boyunca çeşitli kablosuz mobil teknolojilerden (3G, LTE, Wi-Fi) oluşmaktadır. SDWN, tüm mobil araçları ve cihazları destekleyebilen yeni nesil bir mobil ağ yapısı önermektedir [70]. SDWN ile ortaya çıkan denetleyici, servis sağlayıcılara heterojen mobil teknolojilerin yönetim maliyetini düşürerek yeni servislerin daha hızlı dağıtımını, farklı üreticili ağ altyapıları üzerinden kesintisiz işlem yapabilme imkânı sunmaktadır [71].

Ağın beyni, ağın genel bir görünümüne sahip olan ve üreticiden bağımsız bir şekilde ağ cihazlarını kontrol edebilen yazılım tabanlı kontrol cihazlarında merkezileştirilmiştir. Bu ağ cihazları, birçok farklı ağ standardını uygulayabilme ve anlayabilme yeteneklerine ihtiyaç duymayacak, bunun yerine YTA denetleyicilerinden gelen talimatları kabul ederek bu işlevleri yerine getirecektir. Ağ davranışları, ağa dağılmış birçok farklı cihazda özel yapılandırmalar kullanmak yerine, merkezi kontrol cihazlarında programlanarak kolayca kontrol edilebildiğinden, zaman ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır.

Öte yandan, günümüzde geleneksel kablosuz ağ mimarilerinin anahtarlama cihazlarında, kontrol ve veri düzlemlerinin birbirinden ayrılmasını sağlayan özellik bir ölçüde mevcuttur [71]. Bu özellik Kablosuz Erişim Noktalarının Kontrolü ve Sağlanması (CAPWAP) protokolü [72] ile gerçekleşmekte ve tek bir erişim kontrol cihazının, çeşitli satıcılardan tedarik edilen çok sayıda Wi-Fi erişim noktasını yönetebilmesini sağlayan, kablosuz ağlarda kontrol mekanizmasını merkezileştiren yeni bir standart olarak kabul görmektedir. CAPWAP sadece 802.11 için tanımlanmış, ancak kabul edilen her erişim

standartı için de spesifik tanımlamaları da barındırmaktadır. Ancak diğer taraftan programlanabilen kablosuz arabirimler için yeni bakış açıları gerekmektedir. Kablosuz düğümlerin OEK protokolünde belirten programları çalıştıran birer işlemci görevini görmeleri ve bu sayede merkezi kontrol cihazının, belirli bir zamanda kullanılacak protokolü (CSMA/CA, TDMA) dinamik olarak değiştirebilmesi, kablosuz ağların daha etkili ve verimli olmasına imkân sunacaktır.

Günümüz kablosuz ağ mimarisi için merkezi yönetim ve ağ politika denetimi sağlayan çeşitli yönetim araçlar bulunmaktadır. Güvenlik politikaları ise statik ve daha çok kullanıcı profiline göre değişmektedir. Wi-Fi cihaz üretiminde çok fazla üretici çeşitliliği de bulunmamaktadır. Tüm bunlara rağmen dolaşım optimizasyonu, dolaşımdan sonra en uygun ağ yolunun bulunması, farklı radyo teknolojileri arasında dolaşım, uygulama servis kalite gereksinim optimizasyonu, tüm altyapı genelinde talep üzerine bant genişliği, radyo kaynak yönetimleri, ağ politikalarındaki yaratıcı çözümler (makine öğrenme algoritması uygulayabilme) için üretici firmaya olan bağımlılığın ortadan kalkması gibi konular bakımından YTA destekli kablosuz ağ mimarisine ihtiyaç duyulduğu da görülmektedir.

3.2. OPENFLOW PROTOKOLÜ

YTA mimarisinin uygulanabilmesi için en temel gereksinimlerden biri mobil cihazları kontrol edebilmek için standart bir ara yüz ihtiyacıdır. YTA mimarisinin kontrol ve veri katmanları için geliştirilen ara yüz protokolü OpenFlow [73], bir kontrol cihazının veri düzlemindeki ağ cihazlarıyla iletişim kurma biçimini standartlaştırmak için önerilen bir YTA teknolojisidir. Mevcut ağ altyapısındaki donanımlarda yeni fikirleri test etmek oldukça zordur [73]. Bunun nedeni anahtarlar üzerinde çalışan yazılımın kaynak kodunun değiştirilememesi ve yeni ağ fikirlerinin gerçek zamanlı ağ trafiğinde test edilememesidir. OpenFlow, anahtarlar üzerinde tanımlanmış akış tabloları ile üreticilerin ağ cihazlarını ait kodlarına erişmeden bir anahtar yazılım ile kontrol etmenin bir yolunu sunmuştur. Ayrıca kontrol mantığını L3 cihazlarından (yönlendirici, anahtar) kontrol birimine aktaran, denetleyici ve L3 cihazları arasındaki iletişim için bir standart tanımlamaktadır.

OpenFlow tabanlı mimariler, araştırmacılar tarafından yeni fikirleri denemek ve yeni uygulamaları test etmek için kullanılabilecek özel işlemlere sahiptir. Bunlar; yazılım tabanlı trafik analizi, merkezi kontrol, yönlendirme kurallarının dinamik olarak güncellenmesi ve akış soyutlamaları gibi özelliklerdir. OpenFlow destekli uygulamalar

YTA yaklaşımı ile geliştirilen NOX, Beacon, Maestro, Floodlight, Trema veya Node.Flow gibi birçok ağ işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. OpenFlow üretici bağımlılığı olmayan, farklı firma altyapılarının çalışmasını basitleştirerek, heterojen cihazların ortak bir şekilde entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır.

OpenWRT [74] ağ geçitleri üzerinde OpenFlow protokolünü destekleyen, ağ geçitlerinin programlanabilir cihazlara dönüşmesine imkân sunan Linux tabanlı işletim sistemlerinde çalışan son zamanlarda geliştirilmiş açık kaynak bir projedir. Ancak fonksiyonel destekler konusunda uygulanması halen oldukça sınırlıdır. Öte yandan da ağ geçitlerinin işlemci ve hafıza (CAM/TCAM) gibi sınırlı kaynakları, OpenFlow protokolünün performans sorunları gibi nedenlerle önerilen çözümlerin yaygınlaşmamasına sebep olmaktadır.

YTA ve OpenFlow protokolü, maliyetleri ve donanım karmaşıklığını azaltarak ağın işlevselliğini arttırmaktadır. Açık Ağ Vakfı (ONF) 2011 yılında YTA ve OpenFlow tabanlı ağların uygulanmasını desteklemek amacıyla Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon ve Yahoo tarafından kurulmuş ve halen YTA ağ yaklaşımı ile ilgili standartların oluşması için faaliyetlerini sürdürmektedir [75].

OpenFlow, ağ mimarisi için yenilikler sunsa da aynı zamanda bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir. Ağın kullanılabilirliğinin belirli bir zamanda tek bir denetleyiciye bağlı olması, ölçeklenebilirlik ve kullanılabilirlik açısından sorunlara sebep olmaktadır. Ayrıca tüm ağ bilgilerinin tek bir sunucuda bulunması güvenlik endişelerini de uyandırmaktadır. Uyumluluk sorunları da bir başka sorun olarak ortaya çıkmaktadır. OpenFlow için araştırmaların gelecekteki yönelimleri hakkında sorular ise halen devam etmektedir [76].

4. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN YAZILIM TANIMLI AĞ DESTEKLİ YENİ BİR PROTOKOL MİMARİSİ

Heterojenlik, karmaşıklık, ölçeklenebilirlik ve enerji verimliliği gibi sorunlara sahip KVAA mimarisi için birçok araştırmacı, bu mimarinin bant genişliği ve esnekliğini artırmak amacıyla YTA gibi alternatif çözümlere odaklanmaktadır. Oldukça dinamik bir ortama sahip olan KVAA mimarisinin birçok gereksinimi geleneksel ağ altyapısı tarafından karşılanamamaktadır. YTA, statik ağ yaklaşımını programlanabilir ve uyarlanabilir bir ağ yapısına dönüştürmeyi hedeflemektedir. YTA, ağın genel bir görünümüne sahip ve gerektiğinde trafiği gerçek zamanlı olarak yeniden yönlendirebilecek bir denetleyici ile ağdaki tıkanıklıkları önleyebilen akıllı yönlendirme imkânı sağlamaktadır. Bu bağlamda YTA yaklaşımı, KVAA mimarisi kontrol ve yönetim birimleri için ağ analizi ve karar verme süreçlerini de kolaylaştırmaktadır. Ayrıca YTA, ağın kontrol ve yönetim yeteneğini geliştirmek için KVAA ortamında kullanılacak yeni algoritmaların geliştirilmesine de imkân sunmaktadır. YTA uyumlu KVAA yaklaşımı akıllı uzaktan sağlık sistemleri gibi yaklaşımların yaygınlaşmasında da önemli rol oynayacaktır. KVAA mimarisinin performansını arttırmak, YTA yaklaşımının özellikleri kullanılarak geliştirilecek kontrol ve yönetim mekanizmalarının uygulanabilmesi ile mümkün olacağı düşünülmektedir.

YTA yaklaşımına dayalı kablosuz vücut alan ağ mimarisi (YT-KVAA), KVAA ağ mimarisinin YTA ağ yaklaşımı ile daha esnek, hızlı, donanımdan bağımsız, programlanabilir hale dönüşmesini sağlamak için önerilmiştir. Önerilen YT-KVAA mimarisi; KVAA algılayıcı düğümler, her bir KVAA grubunu yöneten ve koordine eden koordinatör düğümler (HUB), bu koordinatör düğümler arasında koordinasyon ve yönetim işlemlerini sağlayan denetleyici ve ağ geçidinden oluşmaktadır. Her bir KVAA, kendi içinde çeşitli görevleri ve öncelikleri olan algılayıcı düğümlerden ve bu düğümleri koordine eden, tüm algılayıcı düğümlerden gelen verileri toplayan, işleyen ve önceden tanımlı bir hedefe göndermekten sorumlu olan koordinatör düğümlerden oluşmaktadır. YT-KVAA mimarisinde KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 standardı kullanılmıştır.

Ortamda birden fazla KVAA kullanıcısı olması durumunda ise sadece koordinatör

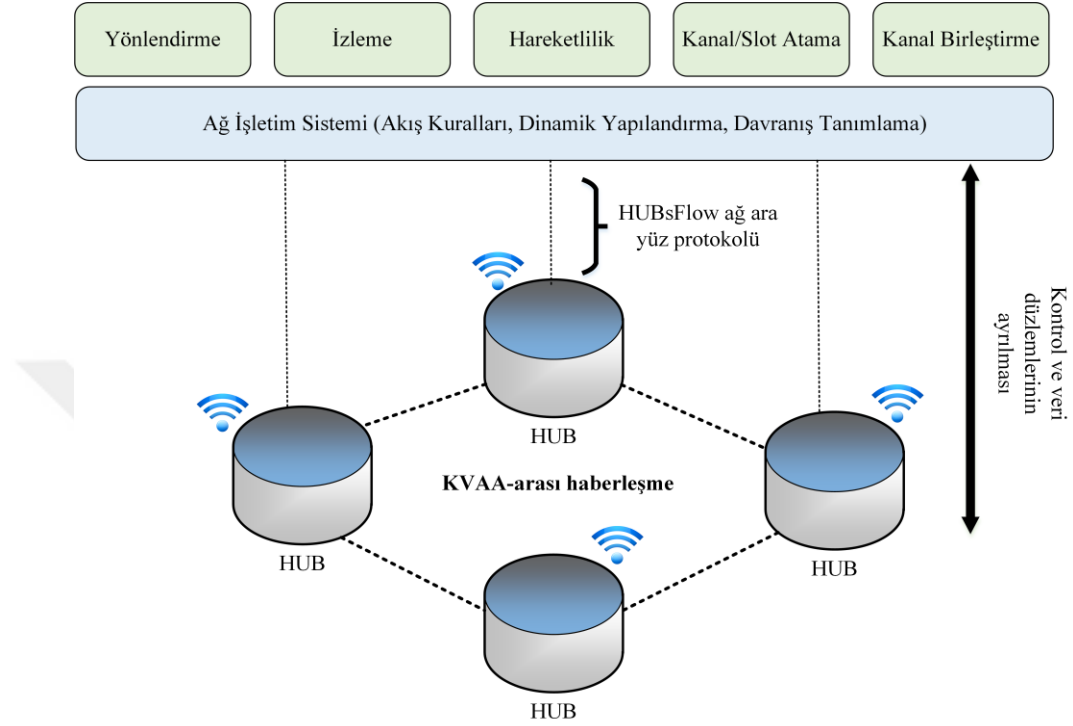
düğüm birbiriyle haberleşebilmektedir. IEEE 802.15.6 standardının KVAA-arası haberleşme için önerdiği bir mekanizma bulunmamaktadır. KVAA-arası haberleşmeler için ortamı yönetecek, kablosuz haberleşme için ağ kaynaklarının adil ve verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlayabilecek yine bir koordinatör ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyaca çözüm olarak ortamdaki tüm koordinatör düğümleri koordine edebilecek ve bir takım kontrol ve yönetim sorumluluklarını devralacak yazılımsal, mantıksal olarak merkezi ve akıllı bir düğümün (denetleyici) KVAA mimarisine eklenmesi çalışmamızın en önemli amaçlarından biridir. YTA'nın merkezi programlanabilir kontrol sistemi, KVAA mimarisinin yönetimle ilgili karmaşıklığı ve üretici firma bağımlılığı sorunlarına çözüm olacaktır. Bu yaklaşım ile KVAA mimarisine yeni bir bakış açısı kazandırılmak istenmektedir.

Denetleyici, KVAA koordinatör düğümleri arasında koordinasyon, etkili ve verimli zaman dilimi tahsisi, akış kontrolü, yönlendirme kararı gibi ağ kontrol ve yönetim görevlerini üstlenmektedir. Denetleyici ile koordinatör düğümler dinamik ağ koşullarını tespit edebilmek amacıyla periyodik olarak iletişim kurmaktadır. YT-KVAA mimarisinde kontrol ve veri düzlemlerinde oluşan bu iletişim yeni bir ağ ara yüz protokol ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda YT-KVAA mimarisinin güney ağ ara yüzünde çalışacak yeni bir ağ ara yüz protokolü (HUBsFlow) geliştirilmiştir.

Şekil 4-1'de önerilen YT-KVAA mimarisinin genel yapısı verilmiştir. Geleneksel YTA yaklaşımı kablolu ağlar için ortaya çıkmıştır. KVAA mimarisi ise hem kablosuz dinamik ağ koşulları hem de uygulama gereksinimleri açısından farklılık göstermektedir. Bu bağlamda önerilen YT-KVAA mimarisi, şekilden de anlaşılacağı üzere her bir KVAA kullanıcıyı gerçek zamanlı programlanabilen kablosuz basit birer iletim cihazlarına dönüştürmektedir. Ayrıca bu kullanıcıların veri düzleminde soyutlanmış bir kontrol düzlemi üzerinden yönetebilmesine de imkân sunmaktadır. Koordinatör düğümler, IEEE 802.15.6 standardında HUB olarak isimlendirilmiştir. Bu bağlamda koordinatör düğüm ve HUB tez çalışmasında aynı anlamda kullanılmaktadır

Önerilen mimarinin sağlık uygulamalarındaki çalışma yapısı Şekil 4-2'de verilmiştir. Çeşitli öncelikleri ve görevleri olan algılayıcı düğümler ve bir adet koordinatör düğümü olan her bir kişi KVAA kullanıcısı olarak tanımlanmaktadır. Tüm bu algılayıcı düğümler ölçtükları fizyolojik verileri bağılı oldukları koordinatör düğümüne göndermektedir. Bu haberleşme yöntemi KVAA-içi haberleşme olarak ifade edilmektedir. Ayrıca her bir KVAA kullanıcısı koordinatör düğümler aracılığıyla, diğeri KVAA kullanıcılarla

kablosuz olarak iletişim kurabilmektedir. Bu haberleşme yöntemine de KVAA-arası haberleşme adı verilmektedir. YTA yaklaşımının KVAA mimarisine entegre edilmesi ile ağ ortamına dahil olan denetleyici tüm KVAA ağının kontrol ve yönetim işlemlerini yürütmektedir.

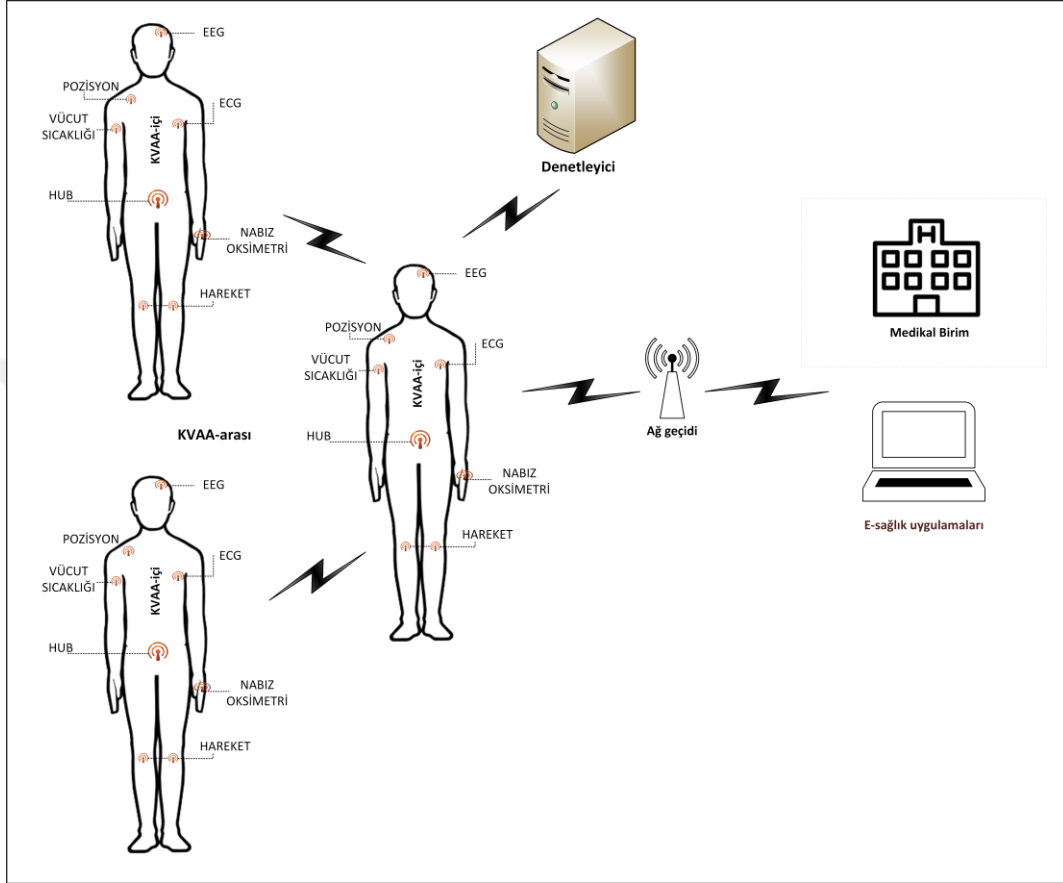


Şekil 4-1. YT-KVAA mimarisinin genel yapısı.

Koordinatör düğümler, kendilerine bağlı algılayıcı düğümlerinden toplanan verileri hedefe iletmek zorundadır. Verileri ilgili birimlere iletmek amacıyla koordinatör düğümler, Wi-Fi erişim noktası gibi bir ağ geçidine ihtiyaç duymaktadır. Ancak erişim noktası kapsama alanı dışında kalan, ya da erişim noktası ile arasında kaliteli bir bağlantıya sahip olmayan bir koordinatör düğümün de verisini en uygun yolla iletmesi beklenmektedir. Bu bağlamda önerilen mimarinin en önemli katkılarından biri, denetleyici tarafından gerçekleştirilen bulanık mantık tabanlı ve enerji duyarlı yönlendirme algoritmasıdır. Bu sayede kapsama alanı dışında kalan koordinatör düğümleri de denetleyici yardımıyla verilerini en uygun rotadan hedefe iletebilmektedir.

Bir diğer taraftan afet durumları gibi olağan üstü durumlarda, denetleyici kapsama alanı dışında kalan bir KVAA kullanıcısının, kendisine bağlı algılayıcı düğümlerden aldığı paketleri hedefe iletebilmesi amacıyla bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritması geliştirilmiştir. Son olarak, KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 standardında

tanımlanan sabit koordinatör düğüm yaklaşımının aksine dinamik koordinatör düğüm yaklaşımını geliştirilmiştir. Çeşitli parametre değerlerine bağlı olarak algılayıcı düğümler arasından en uygun koordinatör düğümü tespit edecek özgül emilim oranına dayalı dinamik HUB seçim algoritması geliştirilmiştir.



Şekil 4-2. Sağlık uygulamaları için YT-KVAA mimarisi.

4.1. GELİŞTİRİLEN YT-KVAA MİMARİSİNİN BİLEŞENLERİ

Bu bölümde YT-KVAA mimarisinin kontrol düzlemi için geliştirilen denetleyici ile veri düzleminde basit iletim cihazları olarak yapılandırılan HUB düğümlerinin katmanlı yapıları ile teknik detayları açıklanmıştır.

4.1.1. YT-KVAA Denetleyicisi

YT-KVAA denetleyicisinin en temel amacı IEEE 802.15.6 standardına sahip bir KVAA mimarisinin ağ kontrol ve yönetim işlemlerini gerçekleştirmektir. YT-KVAA denetleyicisinin görevleri aşağıda listelenmiştir;

Topoloji Keşfi: Denetleyici kapsama alanı içindeki HUB düğümlerinin listesini

oluşturabilmek için ortama periyodik olarak “HELLO” paketleri göndermektedir. Bu paketleri alan her bir HUB düğümü, ilk yapılandırma ve kurulum işlemleri için denetleyiciye “ECHO” paketi ile durum bilgilerini (komşuluk tablosu, pil seviyesi) göndermektedir. Denetleyici tarafından elde edilen bu veriler, ağın genel görünümüne sahip olmak için ağ topolojisini ortaya çıkarmak ve karar verme işlemlerinde kullanılmak üzere depolanmaktadır.

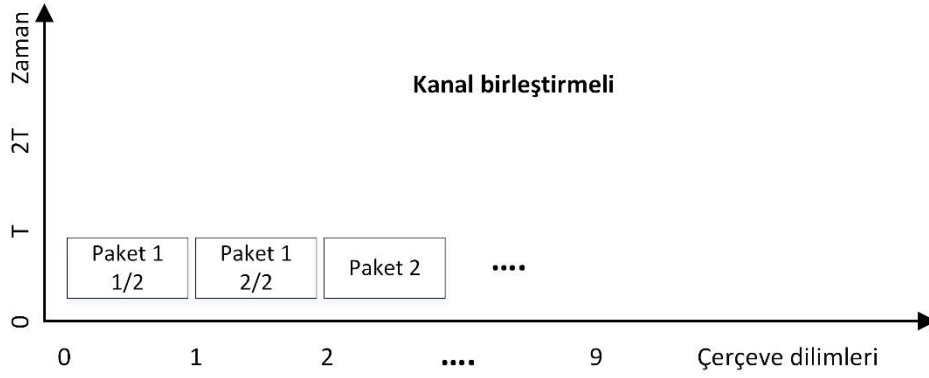
Dinamik Zaman Dilimi Tahsisi: HUB düğümleri kendilerine bağlı olan algılayıcı düğümlerinden gelen paketleri hedefe iletmek için denetleyiciden KVAA-arası kablosuz haberleşme ortamına erişim sağlayabilmek amacıyla uygun zaman dilimi talep etmektedir. Bu yaklaşımdaki amaç, HUB düğümlerinin KVAA-arası haberleşme ortamını boş bulmak amacıyla sürekli sezme durumunu önlemek ve KVAA-arası çekişme tabanlı gerçekleşen birtakım haberleşme problemlerini azaltmaktır. Böylece HUB düğümleri sezme işlemi yapmadan denetleyici yardımıyla uygun zaman dilimi verisine adil ve dinamik bir şekilde erişebilmektedir. Uygun zaman dilimi kullanımı ya da bir başka ifadeyle kablosuz haberleşme ortamına erişim için sürekli sezme durumunu ortadan kaldırarak, gereksiz enerji tüketiminin de önüne geçilmektedir. Denetleyici, topoloji keşfi ile elde edilen bilgileri kullanarak kapsama alanı içinde olan veya daha sonra kapsama alanı içine giren tüm HUB düğümlerine uygun zaman dilimi atama işlemlerini gerçekleştirmektedir. HUB düğümlerine zaman dilimi atama işleminde akış tabloları ve yönetim erişim fazı tanımlayıcısı kullanılmaktadır. Bunlar;

- *Dinamik akış tabloları:* YTA yaklaşımında akış kuralları ile gerçek zamanlı programlanabilme imkânı sunan akış tabloları, denetleyici tarafından üretilmekte ya da güncellenmekte ve ilgili HUB düğümlerine akış kuralı olarak iletilmektedir. HUB düğümü, kuyruğundaki paketleri akış kurallarına (ilet, bırak) göre işlemektedir. Böylece denetleyici gerçek zamanlı ve dinamik olarak HUB düğümlerine yeni akış kurallarıyla müdahale edebilmekte, makine-makine haberleşmesi ile dinamik ağ koşulları için önceden tanımlı ağ politikaları çerçevesinde insan müdahalesine gerek kalmaksızın hızlı çözümler üretilmesine imkan sunulmaktadır. Bu yaklaşım, HUB düğümlerinin denetleyici aracılığıyla hem KVAA-arası haberleşme ortamına erişebilmesini hem de programlanabilir düğümlere dönüşmesini sağlamaktadır.
- *Yönetim erişim fazı (MAP) tanımlayıcısı:* MAP tanımlayıcısı, kablosuz haberleşmede ortam erişim yönetimi için IEEE 802.15.6 standardı tarafından

tanımlanmış yönetim erişim fazını ifade etmektedir. YT-KVAA mimarisi için KVAA-arası haberleşmede denetleyici tarafından yönetilen bir erişim fazı olarak tanımlanmıştır. MAP tanımlayıcısı ile ilgili daha detaylı bilgiler 4.1 bölümünde açıklanmaktadır.

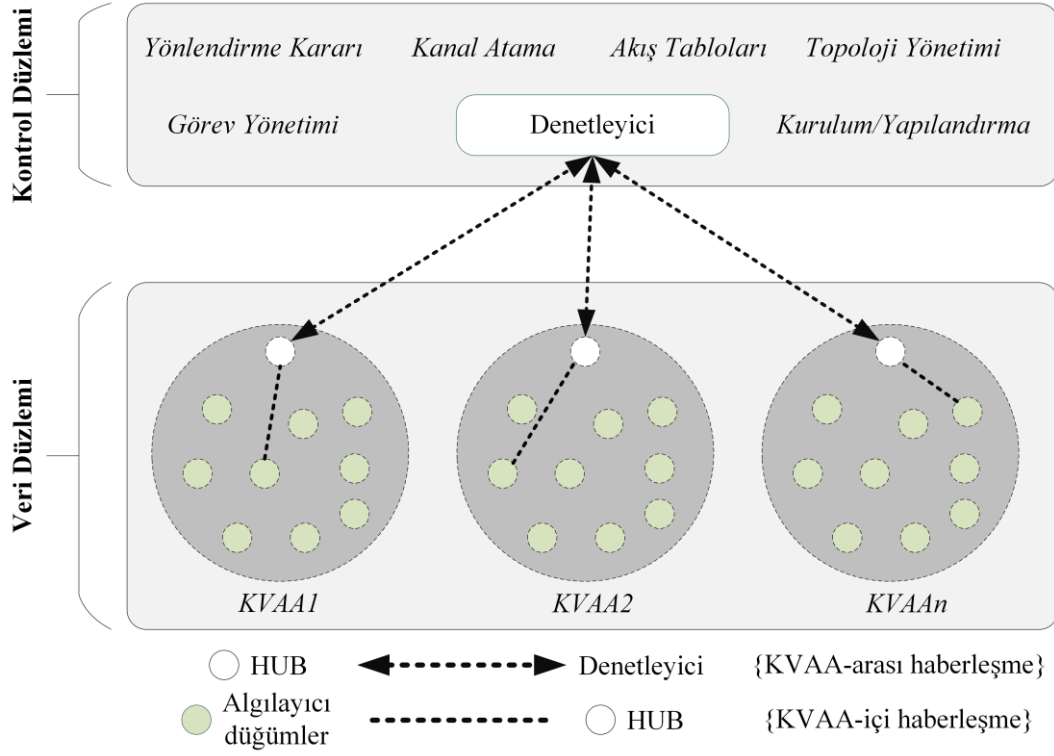
Yönlendirme Kararı: Bu birim, HUB düğümü tarafından yeni bir rota talep edildiğinde ilgili işlemleri yürütmektedir. Denetleyici, yönlendirme kararını verebilmesi için tüm HUB düğümlerinin komşuluk tablolarına ve durum bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Komşuluk tablolarında, her HUB düğümünün komşularına ait HUB düğüm ID'leri ve SNR değerleri bulunmaktadır. Durum bilgilerinde ise her bir HUB düğümünün enerji seviyeleri, kendilerine atanan zaman dilim bilgileri, hedef ve denetleyici adres bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında, en uygun rota bulanık mantık temelli Dijkstra algoritması kullanılarak belirlenmektedir. Bu algoritma sonucu bulunan rota bilgisi, akış tablolarının kurulumu ya da güncellenmesi yoluyla ilgili tüm HUB düğümlerine akış kuralı olarak iletilmektedir.

Kanal Birleştirme: Kanal birleştirme tekniği, kablosuz ağlar için kullanılan yaygın bir yöntemdir [77]. Kanal birleştirme işlemi ile kanal bant genişliği arttıkça paket aktarım sürelerinin azaltılması amaçlanmaktadır [78]. Kanal birleştirme tekniği, denetleyici tarafından zaman dilimi atama işlemini sürdürürken HUB düğümünün mevcut durumuna göre gerçekleştirilmektedir. HUB düğümlerinin kuyruklarındaki paketler bazen büyük (EKG, EEG) bazen de yüksek önceliğe sahip acil verilerle dolabilmektedir. Bu tip durumlarda HUB düğümleri ortamdaki sınırlı kanal kapasitesi nedeniyle servis kalite gereksinimlerini karşılayabilecek etkili iletişim kuramamaktadırlar. Kanal birleştirme tekniği bu sorunu çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu mekanizma, HUB düğümlerinin denetleyiciden daha fazla bant genişliğine sahip iletişim kanalı talep edebilmesine imkân sağlamaktadır. Denetleyici, HUB düğümlerine öncelik atayarak bitişik kanalları yüksek öncelikli HUB düğümlerine tahsis etmektedir. Paket boyutu nedeniyle birden fazla zaman dilimi gerektiriyorsa, denetleyici kanal birleştirme algoritmasının yardımıyla iki bitişik zaman dilimini tespit etmektedir. Akabinde bu zaman dilimleri ilgili HUB düğümlerine atanmaktadır. Şekil 4-3'te kanal birleştirme mekanizması verilmiştir. Kanal birleştirme sonucunda, Paket 1, paketi iki parçaya bölmek yerine T zamanında göndermektedir. Kanal birleştirme mekanizması olmayan grafikte ise Paket 1'in iletim süresi 2T olarak görülmektedir.



Şekil 4-3. Kanal birleştirme tekniği.

Akış tabloları ve MAP tanımlayıcısı denetleyici tarafından üretilir ve HUB düğümlerine işaret paketleri yoluyla iletilmektedir. MAP tanımlayıcısı, KVAA-arası erişim aşamasının başlangıç ve bitiş zaman aralıkları olarak tanımlanmıştır. Şekil 4-4'te YT-KVAA mimarisinin KVAA-içi ve KVAA-arası iletişim yöntemleri gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi KVAA mimarisi YTA ağ yaklaşımına entegre edilmiş, kontrol ve veri düzlemleri birbirinde soyutlanmıştır. Ayrıca KVAA ağ mimarisine yeni bir aktör olan denetleyici eklenmiştir. YT-KVAA mimarisindeki denetleyici sadece koordinatör düğümler ile iletişim kurmaktadır. Koordinatör düğümler hem kendilerine bağlı algılayıcı düğümler hem de diğer koordinatör düğümler ile iletişim kurabilmektedir. KVAA-arası iletişim koordinatör düğümlerdeki akış tablolarındaki akış kuralları ile gerçekleşmektedir. Bu akış tabloları denetleyici ile koordinatör düğümler arasındaki kontrol paket alış verişlerinden sonra ağın mevcut koşullarına göre oluşturulmaktadır. Koordinatör düğüm ile bu düğüme bağlı farklı görevleri olan algılayıcı düğümler veri düzleminde yer alırken, denetleyici kontrol düzleminde yer almaktadır.



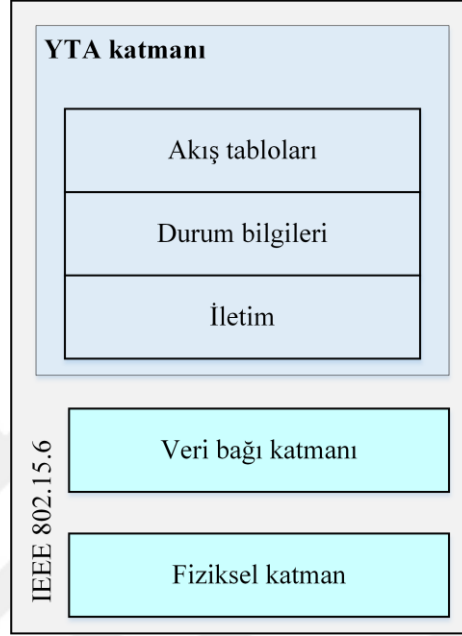
Şekil 4-4. YT-KVAA mimarisi iletişim yapısı.

4.1.2. YTA Uyumlu HUB Düzümü

YT-KVAA mimarisinde, HUB düğümleri kendilerine bağlı olan algılayıcı düğümlerini yönetme, ilgili verileri alma, öncelik seviyelerine göre sıralama ve bu verileri kuyruktaki sırasına göre hedefe iletme görevlerine sahiptir. HUB düğümünün protokol mimarisi Şekil 4-5'te verilmiştir. HUB düğümünde IEEE 802.15.6 standardı üzerine inşa edilmiş yeni bir YTA katmanı eklenmiştir. Bu katmanda iletim, durum bilgisi ve akış tablosu bileşenlerini içermektedir. Bu katman durum bilgilerini iletmek, gelen paketleri işlemek ve akış tablolarını güncel tutmak için periyodik olarak denetleyici ile iletişim kurmaktadır. HUB düğümlerinin davranışları akış tablosundaki komutlara göre belirlenmektedir. YTA katmanının ana bileşenleri aşağıda listelenmiştir;

- *Durum Bilgileri:* İlgili HUB düğümünün durum bilgisi bu bölümde kaydedilmektedir. Bu bilgi periyodik olarak denetleyiciye iletilmektedir. Bu bölümde haberleşme için kullanılan kalan enerji seviyesi, zaman dilim bilgisi, ağ geçidi veya hedef adres bilgisi ve gönderilecek paket boyut bilgilerini içermektedir.
- *Akış Tabloları:* Bu tablolar denetleyici tarafından oluşturulmakta ve güncellenmektedir. HUB düğümüne gelen paketlere ne yapılacağı (paketleri

iletme veya bırakma) akış tablolarındaki akış kuralları ile belirlenmektedir. Çizelge 4.1, tez kapsamında geliştirilen HUBsFlow ağ ara yüz protokolünde kullanılan örnek akış tablosu gösterilmektedir. Üç alana sahip akış tabloları (eşleşme kuralı, eylem ve istatistik) gelen paketi eşleştirme kuralına göre işlemektedir (= / ≠).



Şekil 4-5. YTA uyumlu HUB düğüm mimarisi.

Önerilen YT-KVAA mimarisi üç farklı katmandan oluşmaktadır. Buradaki YTA yaklaşımının kullanılmasındaki asıl amaç, veri katmanındaki HUB düğümlerini, denetleyici tarafından verilen akış kuralları yardımıyla gerçek zamanlı programlanabilir düğümlere dönüştürmektir. Akış tablolarının HUB düğümlerinde bulunması, bu düğümlerin denetleyici tarafından oluşturulan akış kuralları ile yönetilebilmesine, ilgili akış kurallarının da HUB düğümlerine iletilmesine imkân sunmaktadır. Bu yaklaşım göz önüne alındığında, YTA paradigmasının mevcut KVAA mimarisine entegre edilmesi yeni nesil KVAA sistemleri için önemli bir katkı sağlayacaktır.

Denetleyici bir iletim talebi (PACKET-IN) veya periyodik durum bilgisi paketi aldıktan sonra ağda olası bir değişiklik mevcutsa akış tablolarını güncellemektedir. Bu akış tabloları, IEEE 802.15.6 standardının süper çerçeve yapısındaki erişim fazlarından biri olan MAP tanımlayıcısının işaret ettiği zaman diliminde ilgili HUB düğümlerine iletilmektedir. Çizelge 4.1'de görülebileceği gibi, akış tabloları temel olarak eşleşme kuralı, eylem ve istatistik alanlarından oluşmaktadır. Eşleşme kuralı alanı, paketin

kimden ve kimin için geldiği hakkında bilgiler içerirken, eylem alanı pakete uygulanacak iletme veya bırakma işlemlerini ifade etmektedir. İstatistik alanında ise akış kuralı ile ilgili istatistiksel veriler tutulmaktadır.

Çizelge 4.1. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünde akış tablosu.

HUB_ID	Eşleşme Kuralı	Eylem	İstatistik
	<i>Operatör</i> (= / ≠)	<i>İlet / Sil</i>	<i>Akış İşlenme Sayısı</i>
10	=	İlet	10
20	≠	Sil	15
30	=	İlet	25

4.2. CSMA-CA TEMELLİ IEEE 802.15.6 STANDARDI

Bu bölümde Riverbed Modeller benzetim yazılımında gerçekleştirilen ve YT-KVAA mimarisinin altyapısını oluşturan IEEE 802.15.6 standardının kullanılan özellikleri açıklanmıştır. YT-KVAA mimarisi, IEEE 802.15.6 standardının tanımladığı fiziksel ve veri bağı katman özelliklerine göre tasarlanmıştır. Bölüm 2.1’de açıklanan bu standart, KVAA mimarisinin temel altyapısını tanımlamaktadır. Bu standart, sadece HUB düğümü ve bu düğüme bağlı algılayıcı düğümler arasındaki kablosuz haberleşme (KVAA-içi) yöntemlerini tanımlamaktadır. Her algılayıcı düğümün farklı görevleri, veri hızları ve öncelikleri bulunmaktadır.

4.2.1. Öncelik Haritası

IEEE 802.15.6 standardında ortam erişimi için kullanıcı öncelikleri sekiz farklı erişim kategorisine ayrılmıştır [50]. Çerçeve içindeki çekişme penceresi (ÇP) değerleri, bu öncelik derecelerini belirlemektedir. Bu farklı trafik türleri acil veriler, yüksek öncelikli medikal veri/ağ kontrolü, medikal veri/ağ kontrolü, ses, video, mükemmel çaba, en iyi çaba ve arka plan olarak sınıflandırılmıştır. Bu farklı veri trafikleri, CSMA/CA veya Slotted Aloha çoklu erişim teknikleri için minimum ve maksimum ÇP değerleri (ÇP_{\min} ve ÇP_{\max}) ile önceliklendirilmiştir. Bu tez kapsamında daha gerçekçi bir benzetim gerçekleştirebilmek adına CSMA/CA tercih edilmiştir. Farklı kullanıcı ve ağ trafiğine ait minimum ve maksimum ÇP değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kullanıcı öncelik haritası.

Öncelik Sınıfları	UP	Trafik	Paket Tipi	CSMA/CA	
				ÇP_{\min}	ÇP_{\max}
<i>Düşük</i>	0	Arka plan	V	16	64
	1	En iyi çaba	V	16	32
<i>Orta</i>	2	Mükemmel çaba	V	8	32
	3	Video	V	8	16
	4	Ses	V	4	16
<i>Yüksek</i>	5	Medikal veriler	V/Y	4	8
	6	Yüksek öncelikli medikal veriler	V/Y	2	8
	7	Acil veriler	V	1	4

V: Veri – Y: Yönetim – UP: Kullanıcı önceliği

Çizelge 4.3'te CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardının sözde kodu verilmiştir [32], [50], [79]. Öncelikle bu standardın performans analizi için farklı önceliklere sahip sekiz algılayıcı düğüm tanımlanmıştır. HUB düğümü ile algılayıcı düğümler arasında senkronizasyon sağlaması, ağı daha güvenilir ve enerji tüketimi açısından daha verimli hale getirmesi, algılayıcı düğümlerin gönderilecek verileri olmadığı sürece uyku moduna geçmesine imkan sunması nedeniyle HUB ile algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme için işaret paketli süper çerçeve yöntemi tercih edilmiştir. Tek atlamalı yıldız topolojisinde kurgulanan senaryoda, ağdaki her algılayıcı düğümün sürekli paket gönderdiği doygun bir ağ trafik durumu ele alınmıştır. Çizelge 4.2'de de verildiği gibi farklı öncelikli algılayıcı düğümler kendileri için tanımlanmış ÇP değerlerini kullanmaktadırlar. Algılayıcı düğümler KVAA-içi ortam erişimi için ÇP (ÇP_{\min} , ÇP_{\max}) aralığında $[1, \text{ÇP}]$ aralığı boyunca eşit olarak dağıtılmış rastgele bir tam sayı seçerek erişim sağlamaktadır. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardında geleneksel CSMA/CA çoklu erişim tekniğinden farklı olarak ÇP değeri çift sayıda hata için ikiye katlarken, tek sayıda hata için değişmeden tutulmaktadır.

Çizelge 4.3. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardının sözde kodu

Başla: d, ÇP_{min}, ÇP_{maks}, sayac

```
1: for her d için yap
2:   sayac++
3:   x:= rastgele (0, ÇP)
4:   if ortam boşsa
5:     x--
6:     if (d başarılı)
7:       Paketi ilet
8:     else
9:       if (d başarısız)
10:        if (sayaç çiftse)
11:          ÇP'yi ikiye katla
12:        else
13:          ÇP'yi değiştirme
14:        endif
15:      endif
16:    endif
17:  else
18:    ortam boş oluncaya kadar x'i dondur
19:  endif
20: end for
```

YT-KVAA mimarisi, kablosuz ağ altyapısına uygun şekilde tasarlanmıştır. IEEE 802.15.6 standardında tanımlı süper çerçeve yapısının erişim tekniklerinden sadece RAP1 ve MAP1 fazları kullanılmış, diğer erişim fazları sıfırlanmıştır. RAP1, HUB düğümü ve ona bağlı algılayıcı düğümler arasında, MAP1 ise HUB düğümü ve denetleyici arasındaki iletişim için tanımlanmış erişim fazlarıdır. Tanımlanan bu iki erişim fazı KVAA-içi ve KVAA-arası iletişimlerinde kullanılan zaman dilimlerinin birbirlerinden izole edilmesine de imkân sunmaktadır. Ayrıca bu standartta sadece KVAA-içi iletişimi için tanımlanan görev döngüsü HUB düğümü içinde kullanılması sağlanmıştır. Algılayıcı düğümler gibi

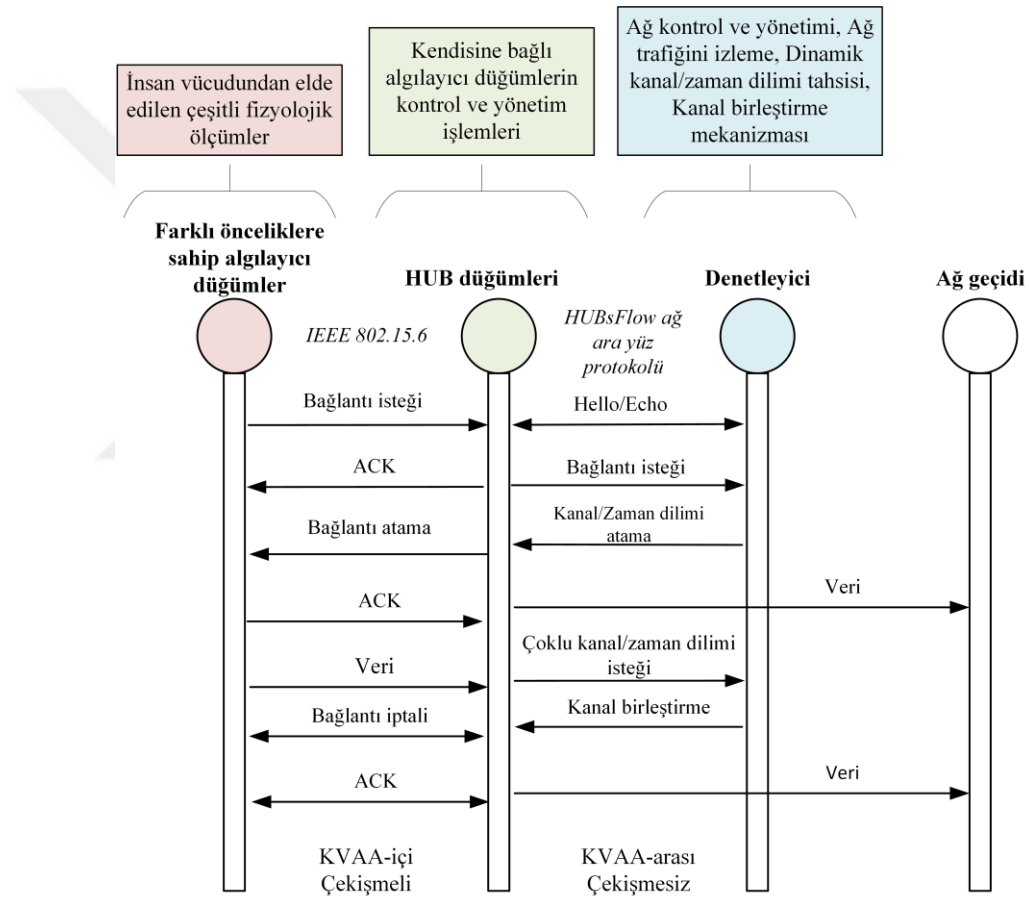
HUB düğümleri de sadece kendilerine ait zaman dilimlerinde aktif kalırken, diğer zaman dilimlerinde enerjilerini boşa harcamamak için uyku durumuna geçmektedir.

4.3. HUBsFLOW AĞ ARA YÜZ PROTOKOLÜ

Kablolu ağlar için ortaya çıkmış olan YTA yaklaşımında, veri ve kontrol düzlemi arasındaki iletişimden sorumlu birim güney ara yüz (southbound) birimidir. Geleneksel YTA yaklaşımında güney ara yüz birimi için standart hale gelmiş olan en yaygın protokol OpenFlow protokolüdür. OpenFlow protokolünün enerji duyarlı olmaması, akış tablolarında çok fazla eşleşme alanı olması ve kablolu ağlar için öne sürülmesi, KVAA gibi düşük güç tüketimi gerektiren ağ mimarileri için yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Son zamanlarda, YTA yaklaşımının kablosuz ağlara uyarlanması konusunda birçok çalışma yapılmıştır [80], [81]. Literatürde Sensor OpenFlow [19], Soft-WSN [20], WSANFlow [21] ve SD-WISE [23] gibi bazı önemli çalışmalar çeşitli kablosuz ağ mimarileri için yeni ağ ara yüz protokolleri önermişlerdir. Ancak bu çalışmalar daha çok KAA ağları için geliştirilmiş, KVAA mimarisi için standart hale gelen IEEE 802.15.6 standardını desteklemediği görülmektedir. Önerilen YT-KVAA mimarisi için yeni bir ağ ara yüz protokolüne ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda KVAA mimarisinin temel gereksinimleri için OpenFlow protokolü temel alınarak CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardı üzerine inşa edilmiş yeni bir güney ağ ara yüz protokolü (HUBsFlow) geliştirilmiştir. HUBsFlow ağ ara yüz protokolü, YT-KVAA mimarisinin veri düzleminde bulunan HUB düğümleri ile kontrol düzleminde bulunan denetleyici arasındaki kablosuz haberleşme için gerekli tanımlamaları içermektedir. HUB düğümleri, HUBsFlow ağ ara yüz protokolünü kullanarak denetleyici ile haberleşebilmektedir. Mantıksal olarak merkezi bir noktada bulunan ve tüm ağın genel görünümüne sahip denetleyici HUB düğümlerini koordine etmektedir. Geleneksel KVAA mimarisinde KVAA-arası haberleşmede HUB düğümlerine ait kontrol ve yönetim fonksiyonları denetleyiciye devredilerek enerji verimliliği sağlanmaktadır. Sonuç olarak, KVAA mimarisi için yönetilebilir ve programlanabilir özelliklere sahip yeni bir ağ mimarisi olan YT-KVAA mimarisinin KVAA-arası haberleşme şekli tanımlanmıştır.

Şekil 4-6'da HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün iletişim mekanizması gösterilmektedir. Denetleyici ve HUB düğümleri arasında kullanılan bu mekanizma KVAA mimarisine özgü gereksinimler ve temel bazı problemler için geliştirilmiştir. Şekil 4-6'da gösterildiği gibi, CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardı HUB düğümleri ve bu düğümlere bağlı

algılayıcı düğümler arasındaki kablosuz haberleşme için kullanılmaktadır. Denetleyici, HUB düğümlerini kontrol edebilme, ağı yönetebilme, ağ trafiğini izleyebilme ve ağ istatistiklerini tutabilme gibi birçok ağ kontrol mekanizmalarına sahiptir. Aynı zamanda kablosuz haberleşme için etkili ve verimli dinamik zaman dilimi ataması, gerektiğinde servis kalite gereksinimleri için kanal birleştirme tekniği kullanılması, akış tablolarının dinamik olarak kurulması/güncellenmesi ve ölçeklenebilir bir ağ ortamı oluşturulması yine denetleyici vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bu yaklaşım, enerji duyarlı, ölçeklenebilir ve işbirliğine yönelik yeni bir ağ yaklaşımı olan YT-KVAA mimarisi ile gerçekleşmektedir.



Şekil 4-6. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün iletişim mekanizması.

KVAA-arası haberleşmede, geleneksel CSMA-CA protokolü gibi çekişme tabanlı erişim teknikleri kullandığında, HUB düğümlerinin ortamı sürekli sezme ve müsait ya da meşgul olduğunda bazı aşamaları takip etmek zorundadır. Bu durum bazen iki HUB düğümü arasında kalan başka bir HUB düğümünün ortamı hiç müsait bulamamasına (açlık durumu) sebep olabilmektedir. Bununla birlikte sınırlı pil ömrü olan HUB düğümlerinin ortamı sezme içinde bir miktar enerjiyi boşa harcadığı da bilinmektedir. Önerilen

yaklaşımında, HUB düğümü ortama erişim için uygun zaman dilim bilgisini (sezme işlemi olmadan) ağın genel görünümüne sahip, mantıksal olarak merkezi bir noktadan tüm ağı yönetebilen bir denetleyici yardımıyla elde etmektedir. Bu sayede HUB düğümleri verilerini gönderebilmek için sürekli olarak ortamı sezmesine gerek kalmamıştır. Ayrıca bu işlemler için boşa harcanan enerji de korunmuş ve bununla birlikte bu işlemden dolayı oluşan gecikme de ortadan kaldırılmıştır. KVAA mimarisi için çok önemli ağ başarımları parametreleri olan gecikme ve enerji verimliliği için de önemli bir katkı sağlanmıştır.

Algılayıcı düğümlerden elde edilen bilgilerin, tüm HUB düğümlerine gönderilmesi çoğunlukla istenmeyen bir durumdur. YT-KVAA mimarisinde, denetleyici tarafından tanımlanan akış kurallarına bağlı olarak, HUB düğümleri bilgilerini komşularına ve denetleyiciye tekil yayın veya çoklu yayın olarak göndermektedir. Bu sayede, yinelenen veri paketleri, sonsuz döngüler, güvenlik açıkları ve yetersiz bellek hatasının da önüne geçilmektedir. Geleneksel KVAA mimarisinde ise HUB düğümleri veri paketlerini ağda tüm düğümlere (broadcast) iletebilecek şekilde yayınlamaktadır. Bu nedenle geleneksel KVAA mimarisindeki veri paketleri için aşırı mesajlaşma, YT-KVAA mimarisinden daha yüksektir.

YT-KVAA mimarisinde, öncelikle YTA uyumlu HUB düğümüne iletilmesi gereken bir paket (röle düğümü olarak) geldiğinde ya da kuyruğundaki paketi bir hedefe göndermesi gerektiğinde, ilk olarak üzerinde bulunan akış tablosundaki akış kurallarını kontrol etmektedir. Eğer ilgili akış kuralı yoksa HUB düğümü kendisine gelen paketle ilgili ne yapacağı bilgisini sorgulayacağı “PACKET-IN” adı verilen bir mesajı denetleyiciye göndermektedir. Denetleyici bu talebe, ağın dinamik koşullarına uygun yeni bir akış kuralı olarak “PACKET-OUT” mesajı ile HUB düğümüne iletmektedir. OpenFlow protokolünden referans alınarak bu paket isimleri kullanılmıştır. Böylece bu akış kuralı HUB düğümünün akış tablosunda yerini almakta ve paket iletme işlemi bu kurala göre gerçekleştirmektedir. Yukarıda bahsedilen tüm bu işlemler bir gecikmeye sebep olmaktadır. Bu gecikme ise yaklaşık 3-5 ms’den daha yüksek olmadığı hem bu tez çalışmasında hem literatürdeki diğer çalışmalarda tespit edilmiştir [82], [83]. Bu gecikme, KVAA için tanımlanmış ISO/IEEE 11073 servis kalite gereksinimini de desteklediği görülmüştür. YT-KVAA mimarisindeki denetleyici, gecikmeleri gerçek zamanlı olarak yönetebilmektedir. HUB düğümlerinden periyodik olarak alınan durum paketleriyle HUB düğümlerinin öncelik durumları da denetleyici tarafından belirlenebilmekte ve bu sayede daha çok öncelikli HUB düğümü daha az gecikmeyle paketlerini hedefe

ulaştırabilmektedir.

KVAA-arası kablosuz haberleşmede kullanılan Bluetooth, WiFi, Zigbee vb. birçok protokolde HUB düğümleri kuyruklarındaki paketleri hedefe ulaştırabilmek amacıyla sürekli ortamı sezmek durumunda bırakılmıştır. Bu işlem, çok yoğun ağ ortamlarında daha fazla enerji tüketimine sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra, IEEE 802.15.6 standardının en önemli avantajlarından biri de birçok algılayıcı düğümün bir HUB düğümü tarafından uygun bir biçimde yönetilebilmesidir. Bu sayede, algılayıcı düğümler süper çerçeve ve görev döngüsü ile sadece HUB düğümü tarafından belirtilen zaman aralıklarında aktif ve uyku durumlarına geçmekte ve böylece enerji tüketimi de en aza düşmektedir. Ancak bu yaklaşım IEEE 802.15.6 standardında sadece KVAA-içi için geliştirilmiş, KVAA-arası haberleşme için herhangi bir öneride bulunulmamıştır [50]. Bu nedenle, KVAA-içi haberleşme için tanımlanan görev döngüsü yaklaşımına benzer bir yaklaşım KVAA-arası haberleşme için denetleyici yardımıyla sağlanmaktadır. HUB düğümlerinin aktif ve uyku durumları denetleyici tarafından dinamik olarak değiştirilebilmektedir. Böylece IEEE 802.15.6 standardının süper çerçeve ve görev döngüsü benzer bir biçimde HUB düğümleri için de uygulanmış ve enerji verimliliği sağlanmıştır.

KVAA mimarisinin en önemli sınırlılıklarından biri de üretici firma bağımlılığıdır. Her üretici firmanın algılayıcı düğümü sadece kendi platformunu desteklemektedir. Bu nedenle, farklı üretici firmalarının geliştirdiği algılayıcı düğümlerden oluşan bir KVAA mimarisinin birbiriyle uyumlu çalışmaması, yönetilmesi ve kullanılması daha karmaşık yapıların oluşmasına sebep olmaktadır [68]. Yönetim ve işlemsel karmaşıklıklarla birlikte ağın yeniden yapılandırılması da başka bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut algılayıcı düğümlerden daha farklı algılayıcı düğümlerin (farklı üretici firmaların ürettiği) kullanılması durumunda da istenmeyen bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu bağlamda, YT-KVAA mimarisi ve HUBsFlow ağ ara yüz protokolü, donanım ve üretici firmadan bağımsız standart bir ara yüz aracılığıyla, tüm ağın yönetilebilmesine ve programlanabilir bir altyapının kullanılabilmesine imkan sunmaktadır.

Şekil 4-7’de YT-KVAA mimarisi için bir hastanenin katı temel alınarak örnek bir senaryo şekli gösterilmektedir. Çok katlı bir hastane ortamında sürekli hareket halinde olan KVAA kullanıcıları için uygun bir OEK tekniği tasarlamak oldukça zordur. Bu bağlamda, YTA yaklaşımı gibi ağ topoloji değişikliklerine hızlı cevap verebilen, dinamik, esnek ve donanım bağımlılığı olmayan yeni bir yaklaşım, birtakım zorlukların çözülmesini

depolanmaktadır. Bu işlemler haliyle daha fazla ağ trafiğine ve enerji tüketimine sebep olabilmektedir. Bu sorunlar ele alındığında yönlendirme işlemlerinin merkezi bir düğüm olan denetleyici tarafından gerçekleştirilmesi ve talep edildiği takdirde en uygun rotanın ilgili tüm düğümlere atanması enerji verimliliği için büyük katkı sağlamaktadır. Bazı durumlarda HUB düğümü ile hedef (ağ geçidi, erişim noktası) arasında doğrudan iletişim kurulması mümkün değildir. Diğer bir ifadeyle aracı bir ara HUB düğümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bazen tek atlama ile gerçekleştirilirken bazı durumlarda da birden fazla ara HUB düğümü (çoklu atlama) üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda paket göndermek için en uygun HUB düğümünün ya da düğümlerinin bulunması bir zorunluluk haline dönüşmektedir.

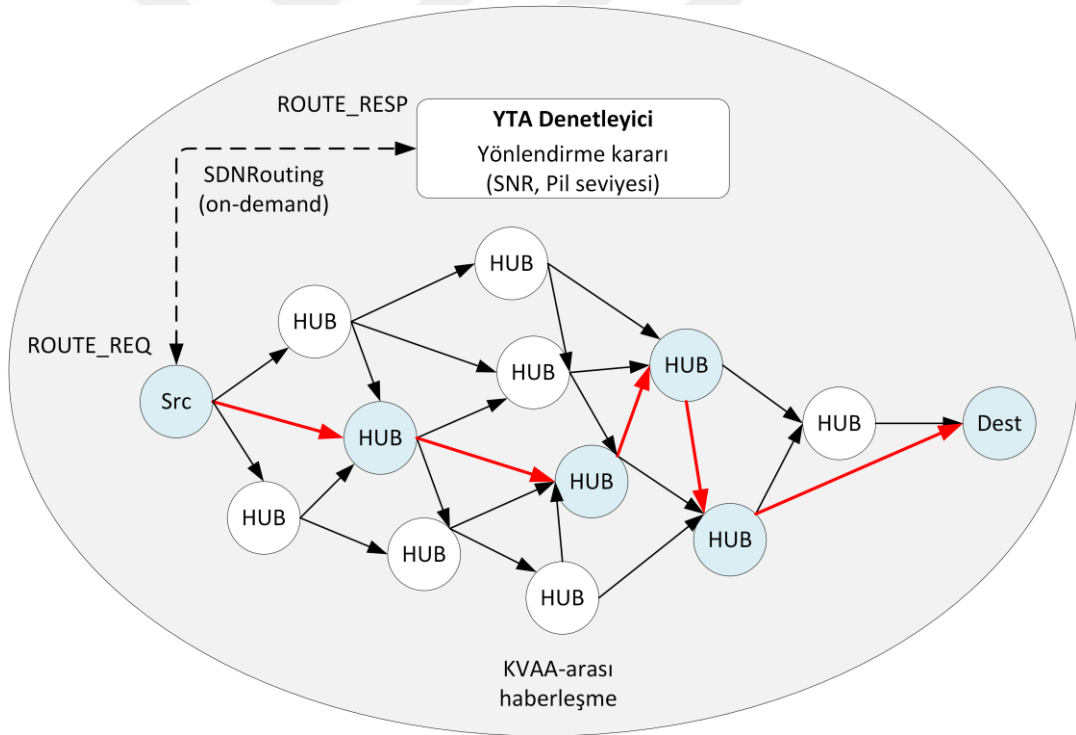
Her bir HUB düğümü komşuluk tablosuna sahiptir. Bu tablo, her bir HUB düğümünün komşuları ile arasındaki sinyal gürültü oranı (SNR) bilgilerini barındırmaktadır. SNR, sinyal gücünün genellikle desibel olarak ifade edilen gürültü gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. SNR ve pil seviyesi değerleri, denetleyici tarafından talep edildiği takdirde yine denetleyiciye gönderilmektedir. SNR değerleri 10 ile 30 arasında, pil ise bir eşik değeri (2J) olarak tanımlanmıştır. SNR değeri 10'un altında ve pil seviyesi eşik değere kadar düşen HUB düğümü, rota üzerinde bir ara düğüm olarak seçilmemektedir. Denetleyici, HUB düğümlerinden aldığı bilgileri kullanarak Dijkstra algoritması yardımıyla en uygun rotaları tespit etmektedir. Tespit edilen rota, talep eden HUB düğümüne ve bu rota üzerinde bulunan ara HUB düğümlere denetleyici tarafından iletilmektedir. Bu bilgilendirme işlemi de HUB düğümlerde bulunan akış tablolarının kurulumu ve güncellenmesi ile gerçekleşmektedir.

Akış tabloları, YTA uyumlu HUB düğümlerindeki bir başka tablodur. Bu tablo ile HUB düğümlerine gelen paketlerin (ilet/bırak) nasıl işleneceği belirlenmektedir. Denetleyici tarafından periyodik olarak ayarlanan ve güncellenen akış tabloları sayesinde, HUB düğümleri yalnızca paket iletme işlemleriyle ilgilenmektedir. Ayrıca, yönlendirme işleminin bir sonucu olarak ortaya çıkacak olan yeni rota bilgileri, akış tabloları vasıtasıyla ilgili düğümlere iletilmektedir.

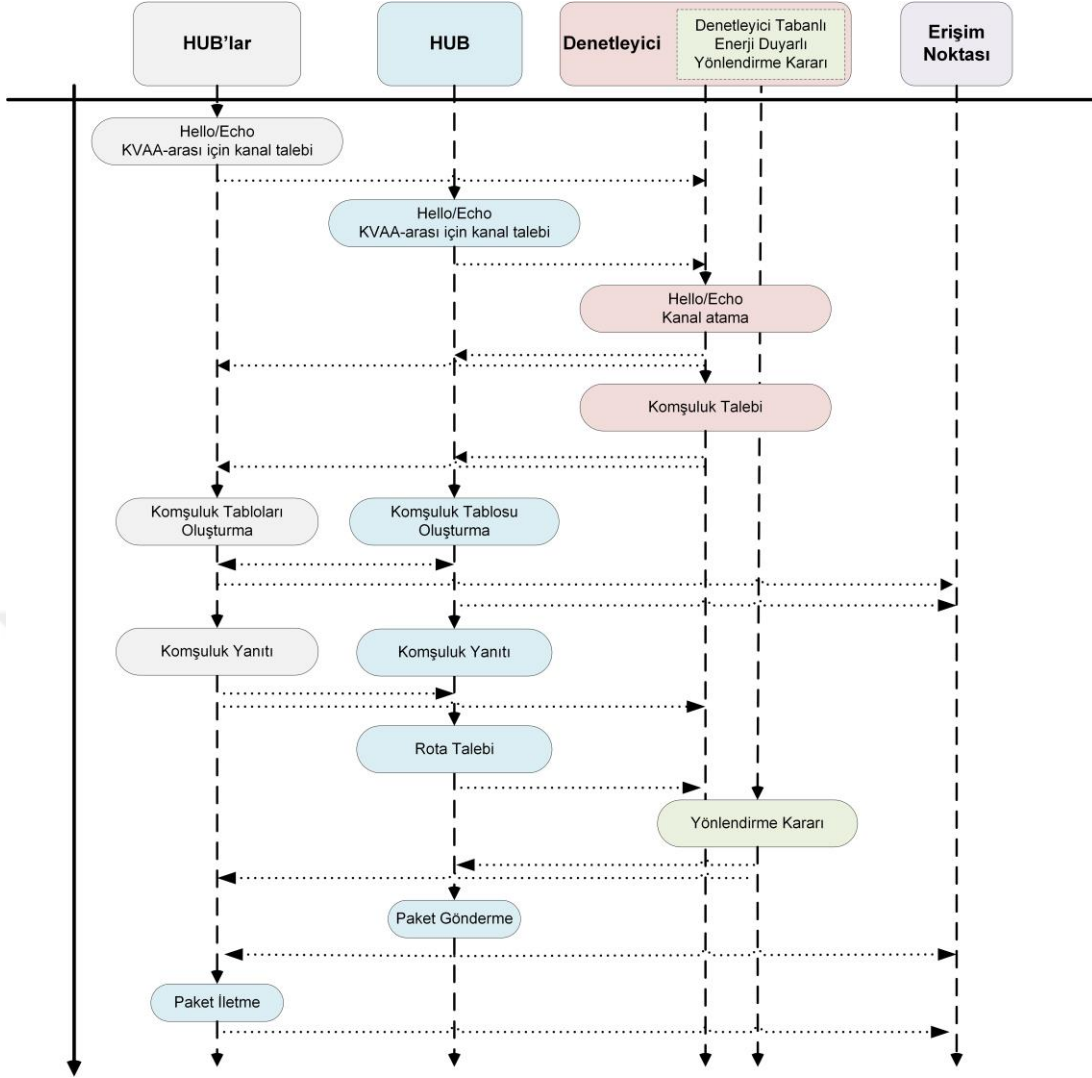
Denetleyici tarafından gerçekleştirilen yönlendirme algoritması bir HUB düğümü tarafından talep edildiği takdirde yürütülmektedir. Bu sayede, HUB düğümleri üzerinde yönlendirme algoritmalarının periyodik olarak çalıştırdığı bazı paketler ve süreçler elimine edilmiştir. Hem enerji verimliliği sağlanmış hem de ağ trafiğinin artmasının önüne geçilmiştir. Denetleyici, en uygun rotayı hesaplarken SNR değeri ile birlikte pil

seviyesi için tanımlanan eşik değerini dikkate almaktadır. Bu sayede belirlenen rotada eşik değerin altında bir HUB düğüm olmasının önüne geçilmiş ve enerji tüketim dengesi sağlanmıştır.

Şekil 4-8’de önerilen SDNRouting yönlendirme algoritması gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, rota denetleyiciden istenmektedir. Denetleyici, HUB düğümlerinden elde edilen durum bilgilerine (SNR ve pil seviyesi) göre en uygun rotayı Dijkstra algoritması yardımıyla tespit etmektedir. Denetleyici, KVAA-arası haberleşme için dinamik kanal tahsisi ve yönlendirme karar işlemlerini gerçekleştirmektedir. SDNRouting sıra diyagramı Şekil 4-9’da verilmiştir. HUB düğümleri öncelikle denetleyici ile iletişim kurarak ilk kurulum ve yapılandırma işlemlerini ve KVAA-arası haberleşme için gerekli uygun zaman dilimlerini talep etmektedir. HUB düğümleri komşuluk tablolarını denetleyici tarafından iletilen işaret paketinden sonra oluşturmaktadır.



Şekil 4-8. SDNRouting yönlendirme algoritması.

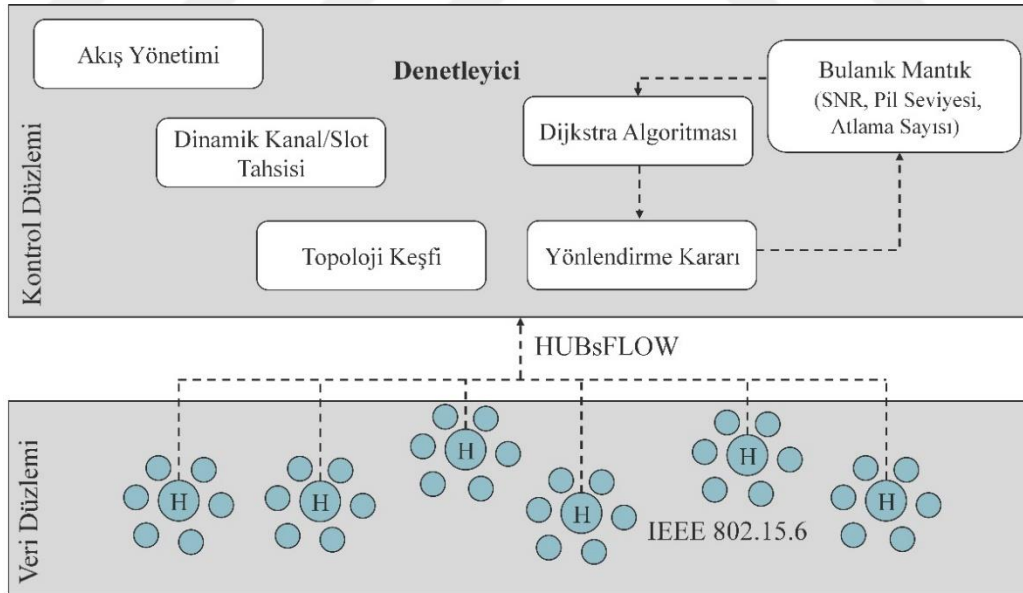


Şekil 4-9. SDNRouting yönlendirme algoritması sıra diyagramı.

4.4.2. ESR-W Yönlendirme Algoritması

KVAA mimarisi için enerji verimliliği önemli konu başlıklarından biridir. Mevcut enerji verimli yönlendirme algoritmaları, en uygun rotayı belirlemek için genellikle kalan enerji miktarı, iletim gücü ve bağlantı mesafesini yönlendirme metriği olarak kullanmaktadır. Tez kapsamında, YT-KVAA mimarisi için yeni yönlendirme metriği ve rota seçim işleminde bulanık mantık tabanlı Dijkstra tekniği kullanılarak yeni bir yönlendirme algoritması (ESR-W) daha geliştirilmiştir. ESR-W algoritmasında, HUB düğümleri için kararlı ve uygun rota seçimi, tüm ağın genel görünümüne sahip merkezi bir düğüm olan denetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir. Merkezi ve reaktif (talep üzerine) yönlendirme yaklaşımı sayesinde, önerilen yeni yönlendirme metrikleri (SNR, atlama sayısı, pil seviyesi) daha kararlı ağ bağlantısı ve daha az ek rota keşfi (daha az iş yükü) sağlayabilmektedir.

Şekil 4-10'da ESR-W algoritmasının katmanlı iletişim mekanizması gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, YT-KVAA mimarisinin kontrol düzleminde yönlendirme karar birimi için bulanık mantık temelli Dijkstra algoritması kullanılmaktadır. Bu algorithmada SNR, atlama sayısı ve pil seviyesi birer yönlendirme metriği olarak ele alınmıştır. Geleneksel KVAA mimarisinde, yönlendirme karar işlemleri HUB düğümleri tarafından gerçekleştirilirken, ESR-W algoritmasında HUB düğümleri yalnızca KVAA-içi haberleşme için kendisine bağlı algılayıcı düğümleri yönetmekte, yönlendirme karar işlemleri denetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir. KVAA-arası haberleşme için gerekli tüm kontrol ve yönetim işlemlerinin yanı sıra yönlendirme karar işlemi de denetleyiciye aktarılmış ve HUB düğümleri YTA yaklaşımının bir sonucu olarak basit birer iletim cihazlarına dönüştürülmüştür. Bir KVAA algılayıcı düğüm grubunun çalışma süresi, HUB düğümünün ağ ömrü kadardır. Önemli bir enerji tüketim kaynağı olan yönlendirme karar işleminin denetleyici tarafından gerçekleştirilmesi, HUB düğümlerinin daha uzun ömürlü çalışmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda YTA yaklaşımı, KVAA mimarisinin daha uzun süre kullanılabilmesine imkân sunmaktadır. Şekil 4-10'da gösterildiği gibi önerilen denetleyici topoloji keşfi, akış yönetimi, dinamik zaman dilimi tahsisi ve yönlendirme karar birimlerine sahiptir.



Şekil 4-10. YT-KVAA mimarisi için ESR-W iletişimi.

SDN Routing algoritmasında olduğu gibi ESR-W algoritmasında da her bir HUB düğümünde komşuluk ve akış tablosu bulunmaktadır. Komşuluk tablosunda her bir HUB düğümünün komşu düğümleri ve pil seviyesi bilgileri tutulmaktadır. Herhangi bir HUB

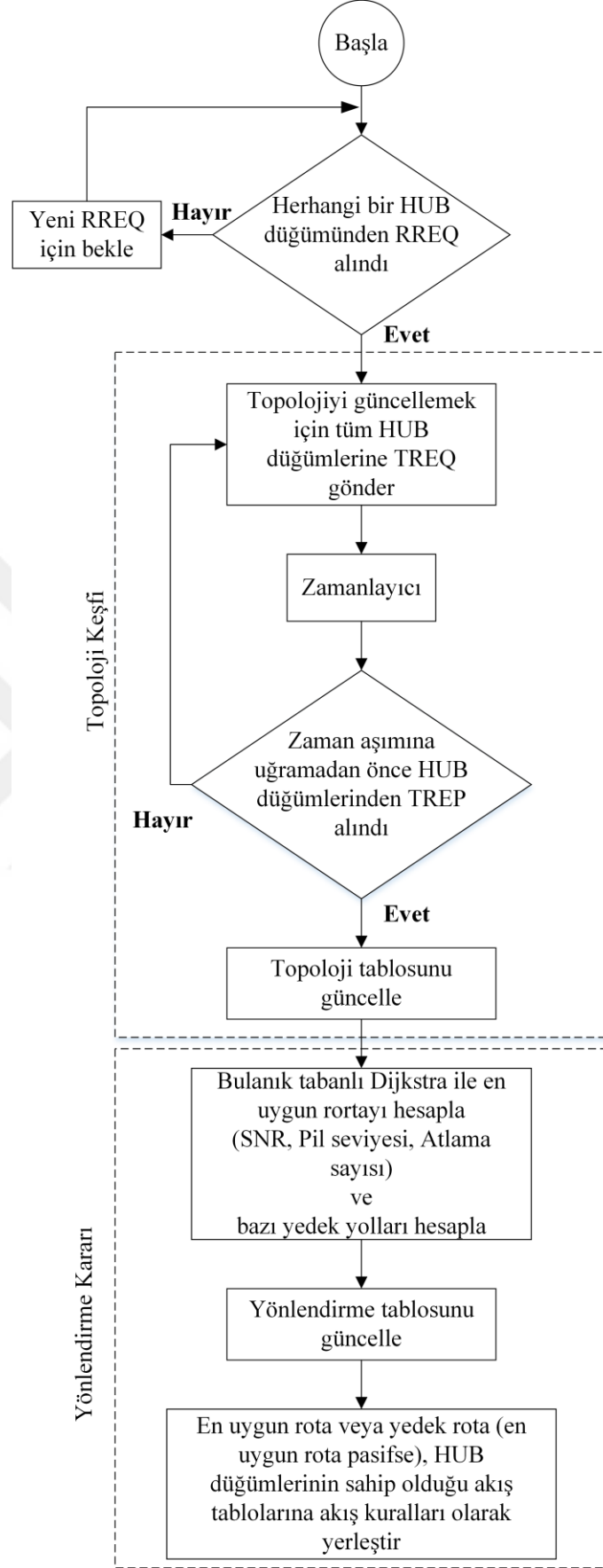
düğümü tarafından rota talep edildiğinde, denetleyici tarafından ağ ile ilgili durum bilgileri kontrol paketleri aracılığıyla elde edilmektedir. SNR, atlama sayısı ve pil seviyesi değerleri sırasıyla 10-30 dB, 1-15 atlama ve 1-10 J arasında tanımlanmıştır. Denetleyici, HUB düğümlerinden elde edilen bilgileri bulanık mantık yardımıyla birer maliyet değerine dönüştürmektedir. Bulanık mantıkta uygulanan adımların detayları Bölüm 4.4.2.2’de açıklanmaktadır. Her bir alternatif rotanın maliyet değerleri bulunduğundan sonra, en kısa yol Dijkstra algoritması ile bulunmaktadır. Bu şekilde, yetersiz ölçümlere sahip HUB düğümleri rota üzerinde bir ara düğüm olarak atanmamaktadır. Bulanık mantık tabanlı Dijkstra tekniğinin bir sonucu olarak elde edilen en uygun rota bilgisi, denetleyici tarafından talep eden HUB düğümü ve ilgili ara HUB düğümlerine akış kuralları olarak iletilmektedir.

Yukarıda belirtilen iş ve işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için denetleyici, topoloji ve yönlendirme tablolarını kullanmaktadır. Topoloji tablosunda, topoloji keşif birimi ile elde edilen komşuluk tablo bilgileri ve durum bilgileri depolanmaktadır. Bu tablodaki veriler ışığında yönlendirme karar işlemi gerçekleştirilmektedir.

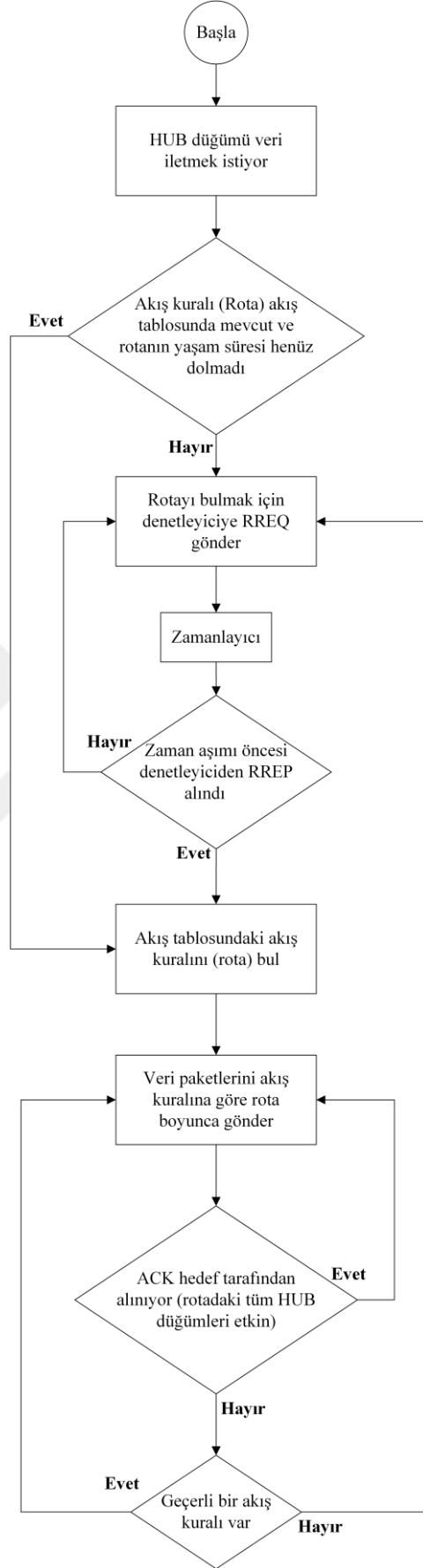
Yönlendirme tablosunda ise, bulanık mantık tabanlı Dijkstra algoritması kullanılarak hesaplanan rota bilgileri bulunmaktadır. Denetleyici ilgili HUB düğümlerinin komşu SNR bilgilerini, pil seviyelerini ve hedefe giden atlama sayılarını kullanarak en uygun rotayı hesaplamaktadır. Akabinde, elde edilen bu rota bilgileri hem yönlendirme tablosunda depolanmakta hem de akış tabloları vasıtasıyla ilgili HUB düğümlerine iletilmektedir.

4.4.2.1. ESR-W Akış Diyagramı

Şekil 4-11’de verilen akış diyagramında, ESR-W algoritmasının en uygun rota bulma işlemi, Şekil 4-12’de ise HUB düğümlerinden hedefe olan veri iletiminin detayları gösterilmiştir. Herhangi bir HUB tarafından rota talep edilmesi halinde denetleyici yönlendirme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu sayede HUB düğümleri üzerindeki yönlendirme algoritmaları nedeniyle oluşan iş yükü ortadan kaldırılmıştır. Sonuç olarak, enerji verimliliği sağlanmış ve ağ trafiği azaltılmıştır.



Şekil 4-11. En uygun rota tespiti akış diyagramı.

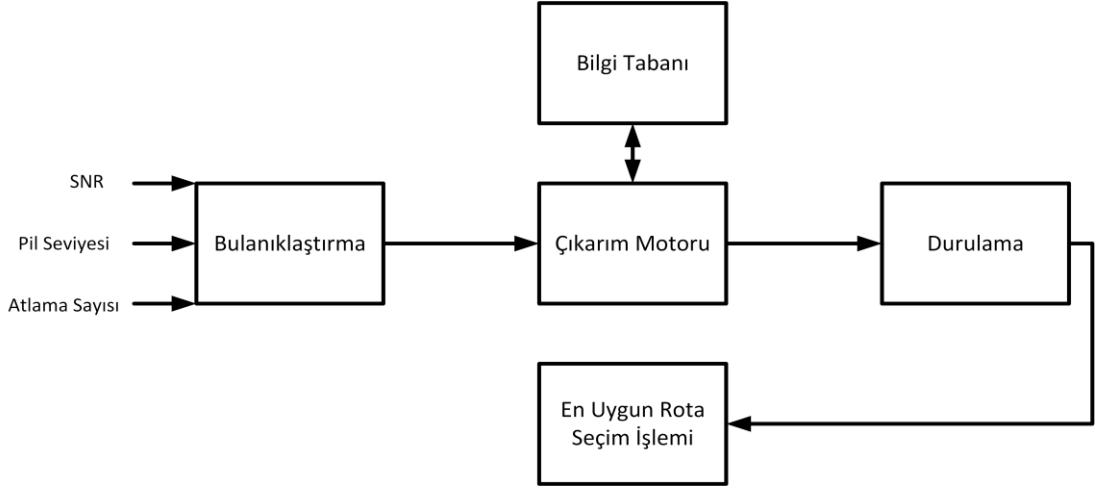


Şekil 4-12. HUB düğümlerindeki veri iletiminin akış diyagramı.

Akış diyagramlarındaki her bir aşama şu şekilde gerçekleşmektedir; örneğin herhangi bir HUB düğümü, paketlerini hedefe göndermek istemektedir. İlk olarak, HUB düğümü akış tablosunda uygun bir akış kuralı aramaktadır. Uygun bir akış kuralı varsa, paketini bir sonraki HUB düğümüne iletmektedir. Uygun akış kuralı yoksa yeni bir akış kural talebi için RREQ paketini denetleyiciye göndermektedir. RREQ paketi alan denetleyici, ağın son durumu hakkında bilgi toplamak için ortama TREQ (topoloji talebi) paketini göndermektedir. Tüm HUB düğümleri TREQ paketini alarak komşuluk tablolarını (SNR, komşu ID) ve durum bilgilerini (pil seviyesi, kullanılan zaman dilimi, hedef adresi) TREP (topoloji yanıtı) paketi ile denetleyiciye göndermektedir. Denetleyici bu bilgileri topoloji tablosu ile karşılaştırarak ağdaki yeni durum bilgilerini güncellemektedir. Daha sonra, en uygun rotalar ve varsa yedek rotalar bulanık mantık tabanlı Dijkstra algoritması yardımıyla hesaplanmaktadır. En uygun rota bilgisi, denetleyici tarafından (RREP) HUB düğümlerinin akış tablolarında akış kuralları olarak yerleştirilmektedir. Bu yeni rotalar, gerektiğinde tekrar kullanılabilmesi için yönlendirme tablosunda depolanmaktadır.

4.4.2.2. *Bulanık Mantık Tekniği ile Verimli ve Minimum Maliyetli Yönlendirme*

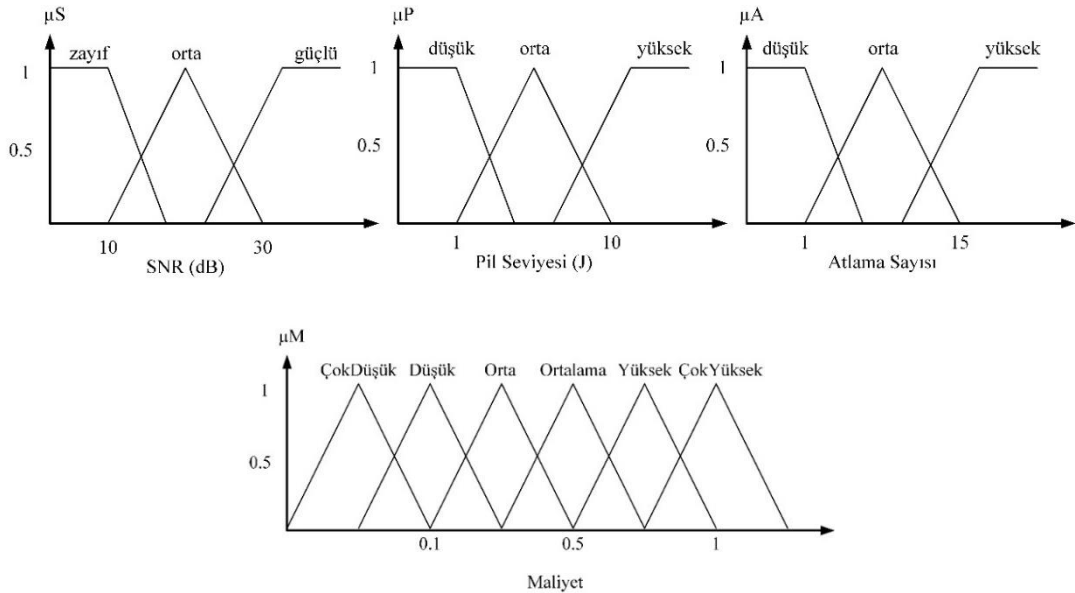
Bulanık Mantık, 1965 yılında California Üniversitesi'nde Profesör Lofti Zadeh tarafından öne sürülmüştür. Sınırlarla ifade edilen bir dizi kural ve prosedürün bu sınırlardaki sorunları çözmeye başarılı olmak için ne yapmaları gerektiğini söyleyen bir yaklaşımdır [84]. Önerilen bulanık mantık tabanlı en uygun rota seçim süreci Şekil 4-13'te verilmiştir. Bulanık sisteme net giriş olarak üç parametre (SNR, pil seviyesi ve atlama sayısı) verilmiştir. Net sayısal küme, bulandırma birimi ile dilsel terimlere dönüştürülmektedir. Üyelik fonksiyonları, eğer öyleyse kuralları ve bulanık mantık operatörleri çıkarım motorunda tutulmaktadır. Bulanıklaştırma, girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarıyla karşılaştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Her kuralın ağırlık derecesini artırmak için öncül kısımdaki üyelik değerleri birleştirilir. Daha sonra, nitelikli sonuçlar üretilmektedir. Bulanık sistemin son basamağı olan durulama, net bir çıktı üretmek için nitelikli sonuçların bir araya getirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bilgi tabanı bir takım if-then kurallarına sahiptir.



Şekil 4-13. Bulanık mantık tabanlı en uygun rota seçim süreci.

Önerilen bulanık sistemde kullanılan SNR, pil seviyesi, atlama sayısı giriş üyelik fonksiyonları ile çıkış maliyeti üyelik fonksiyonu Şekil 4-14'te verilmiştir. Her parametrenin gelişmiş bulanık yapıda bir üyelik işlevi bulunmaktadır. Bulanık giriş, If-then bulanık kuralları kullanılarak bulanık çıktıya dönüştürülmektedir.

Her üyelik fonksiyonunun üç görevi ve kural tabanında toplam 27 kuralı bulunmaktadır. Önerilen bulanık mantık sistemindeki kuralların bazıları Çizelge 4.4'te gösterilmektedir. Bu algoritmanın değerlendirilmesi için gerçekleştirilen senaryoda 10 adet HUB düğümü, her bir HUB düğümünün SNR, pil seviyesi ve atlama sayıları bulunmaktadır. Bu parametreler, önerilen bulanık karar sisteminin girişine uygulanmakta ve daha sonra geliştirilen sistem ilgili çıktıları üretmektedir.



Şekil 4-14. Bulanık giriş ve çıkış maliyeti üyelik fonksiyonları.

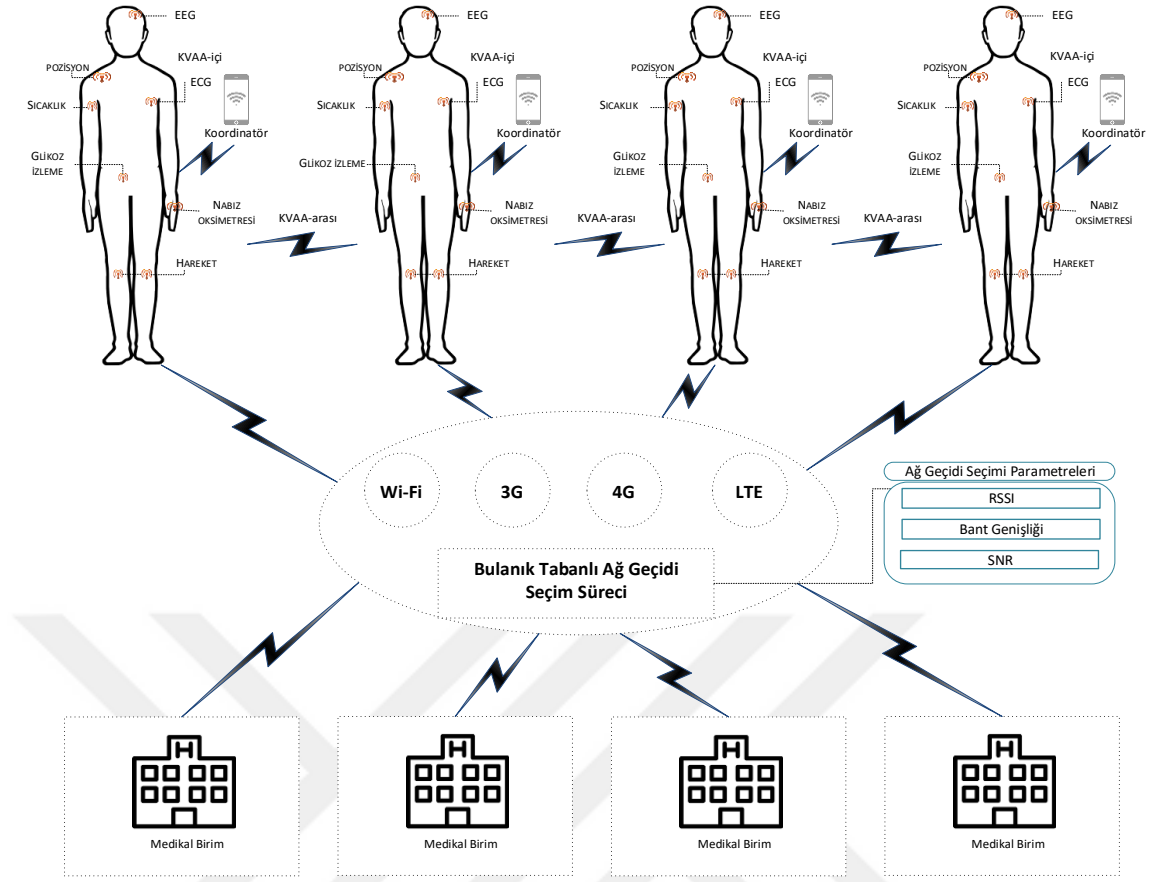
Çizelge 4.4. Önerilen bulanık mantık sistemindeki bazı kurallar

Kural No	SNR	Pil Seviyesi	Atlama Sayısı	Çıktı
6	Zayıf	Orta	Yüksek	ÇokDüşük
13	Orta	Orta	Düşük	Ortalama
14	Orta	Orta	Orta	Orta
15	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
22	Güçlü	Orta	Düşük	Yüksek
25	Güçlü	Yüksek	Düşük	ÇokYüksek

4.5. BULANIK MANTIK TABANLI AĞ GEÇİDİ SEÇİM ALGORİTMASI

Şekil 4-15’te bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritmasının (BAS) temel mimarisi görülmektedir. BAS algoritmanın temel amacı afet durumları gibi olağan üstü durumlarda denetleyici kapsama alanı dışında kalan bir KVAA kullanıcısının kuyruğundaki paketlerini en uygun ağ geçidi seçimini gerçekleştirerek hedefe iletmesidir. Belirli bir hedefe verilerin iletilmesi, HUB düğümlerinin Wi-Fi erişim noktası veya diğer kablosuz teknolojiler gibi uygun bir ağ geçidi aracılığıyla gerçekleşebilmektedir.

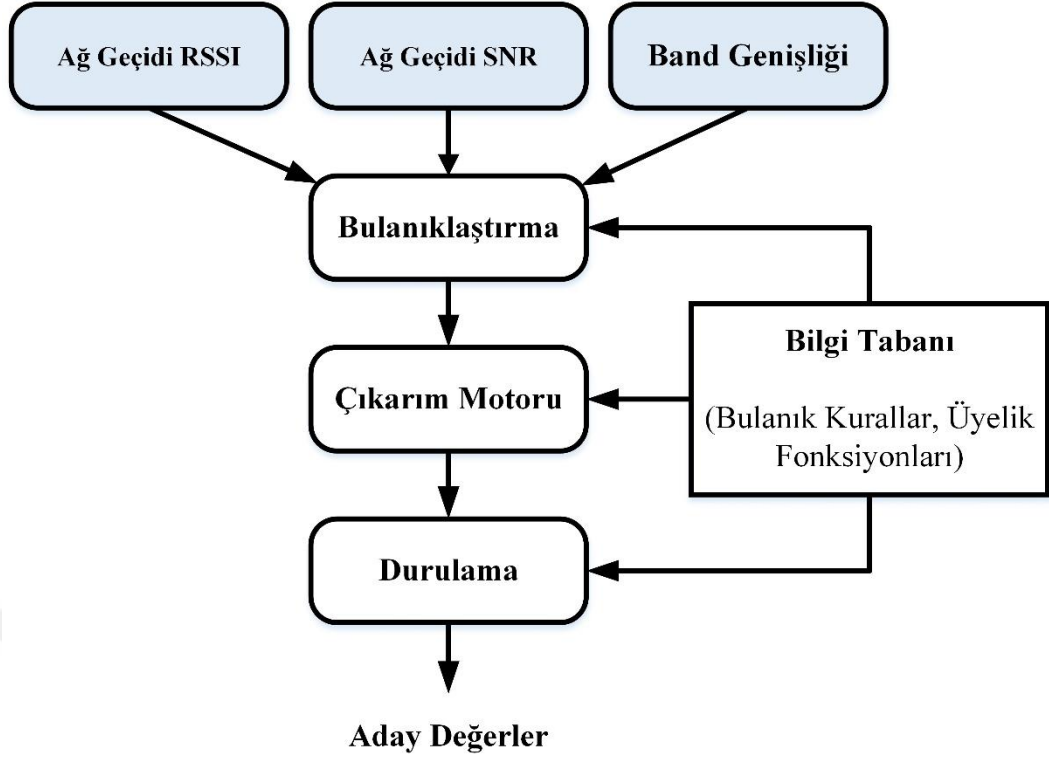
KVAA mimarisindeki en önemli amaçlardan biri, HUB düğümlerinin kendilerine bağlı algılayıcı düğümlerden topladıkları verileri hedefe iletmesidir. Bu hedef bir cep telefonu, dizüstü bilgisayar veya bir başka HUB düğümü olabilmektedir. Ayrıca, veriyi uzak bir yere iletebilmek için ağ geçidi gibi bazı iletişim cihazlarının kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, denetleyici kapsamı dışında kalan ve afet olayları gibi acil durumlarda KVAA kullanıcılarının haberleşmelerini sürdürebileceği yeni bir algoritma (BAS) geliştirilmiştir. BAS algoritmasında bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim işlemi gerçekleşmektedir. “Alınan Sinyal Gücü Göstergesi” (RSSI), SNR ve bir kablosuz bağlantının kalitesini belirten “Bant Genişliği” parametreleri önerilen bulanık sistemin girişleri olarak ele alınmıştır. HUB düğümü bu parametrelere göre hangi erişim noktasına bağlanacağına karar vermektedir.



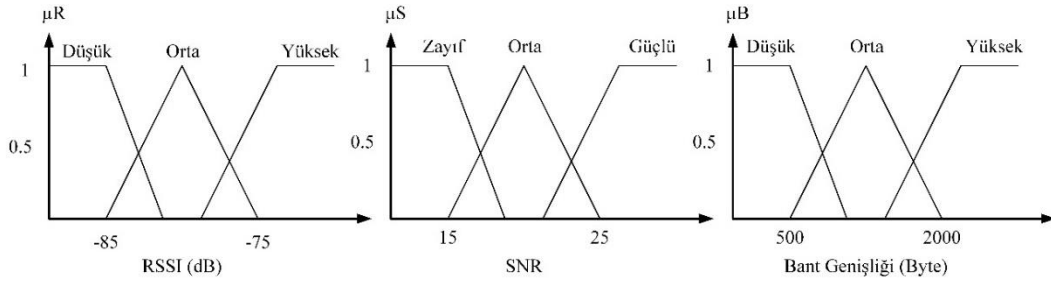
Şekil 4-15. BAS algoritması mimarisi.

Karar verme yöntemi olarak yaygın kabul gören yaklaşımlardan biri bulanık mantık tekniğidir. Bu teknik "doğru ya da yanlış" yerine "doğruluk derecelerine" dayanan, belirsiz veya yaklaşık sebeplendirme durumları için uygun bir yaklaşımdır. Bulanık mantık tekniği, en uygun ağ geçidini seçmek için geliştirilen algorithmada önemli bir role sahiptir. Önerilen bulanık model Şekil 4-16'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere SNR, RSSI ve erişim noktalarına ait bant genişliği bilgisine göre adaylık değerinin hesaplanmasından sorumlu olan bulanık mantık tabanlı model gösterilmektedir.

“RSSI, SNR ve Bant Genişliği” gibi değerler erişim noktalarından toplanmaktadır. Bulanıklaştırma adlı ikinci işlem bu sayısal değerleri dilsel değerlere dönüştürmektedir. Şekil 4-17'deki üyelik fonksiyonlarından görülebileceği gibi dilsel değerler, düşük, orta ve yüksektir. Üyelik fonksiyonları ölçümlere uygulanmakta ve üyelik dereceleri belirlenmektedir.



Şekil 4-16. BAS algoritması bulanık model blok şeması.



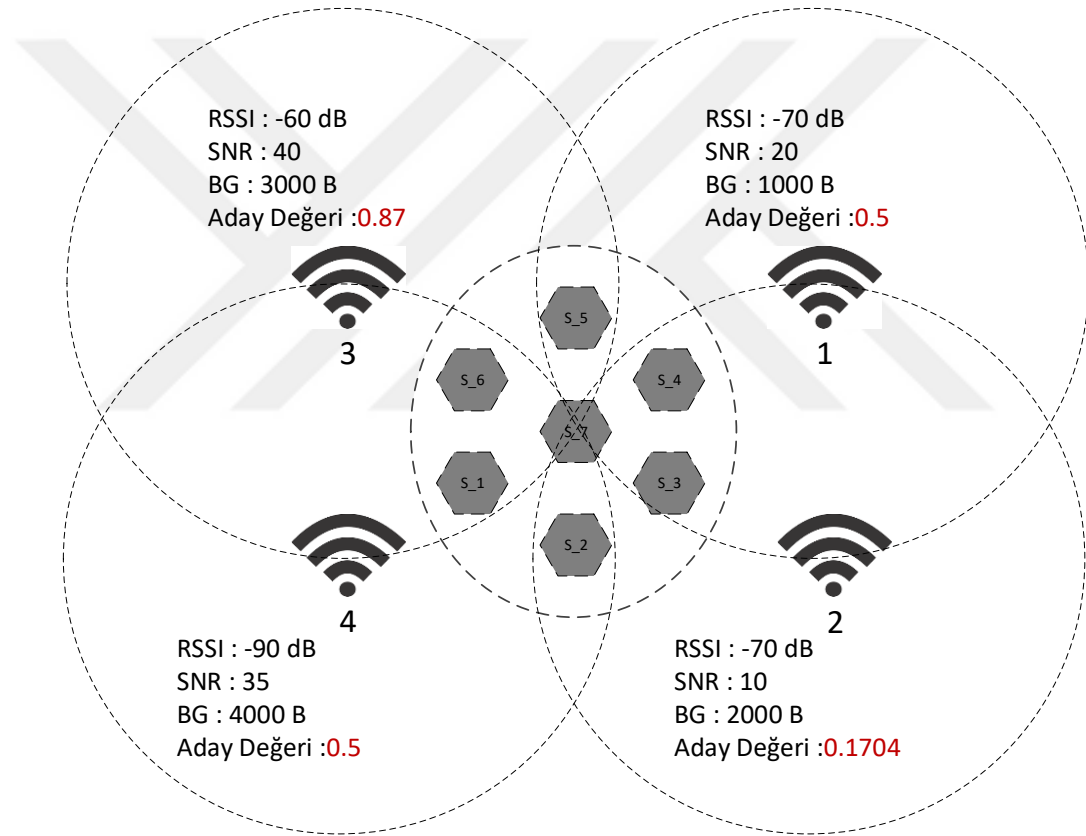
Şekil 4-17. Bulanık giriş üyelik fonksiyonları.

Bulanıklığın diğer adımı kural değerlendirilmesidir. if/then ifadesi olan bulanık kurallar, bulanık sistemlerde verim kararında kullanılmaktadır. Girişler, Çizelge 4.5'te görülebileceği gibi "if/then" kontrol kuralları grubuna uygulanmaktadır. Önerilen sistemin 3 girişi ve bu nedenle tanımlanabilecek 27 bulanık kural bulunmaktadır. Bu kurallardan bazıları Çizelge 4.5'te verilmektedir. Bir dizi bulanık çıktı üretmek için çeşitli bulanık kuralların sonuçları birlikte hesaplanmaktadır. Son adım ise durulama işlemidir. Bu süreçte, bulanık çıktılar önerilen mekanizmada bir karar vermek için ihtiyaç duyulan ayrık değerlerle birleştirilmektedir. Önerilen mekanizmanın bulanık adımları Şekil 4-16'da gösterilmektedir. Girdiler bulanık sisteme alınmış ve daha sonra erişim noktalarının adaylık değerleri 0 ile 1 arasında hesaplanmıştır. Adaylık değeri en yüksek

olan erişim noktası bir ağ geçidi olarak seçilmektedir. Şekil 4-18'de 3 numaralı erişim noktası en uygun ağ geçidi olarak seçilmiştir.

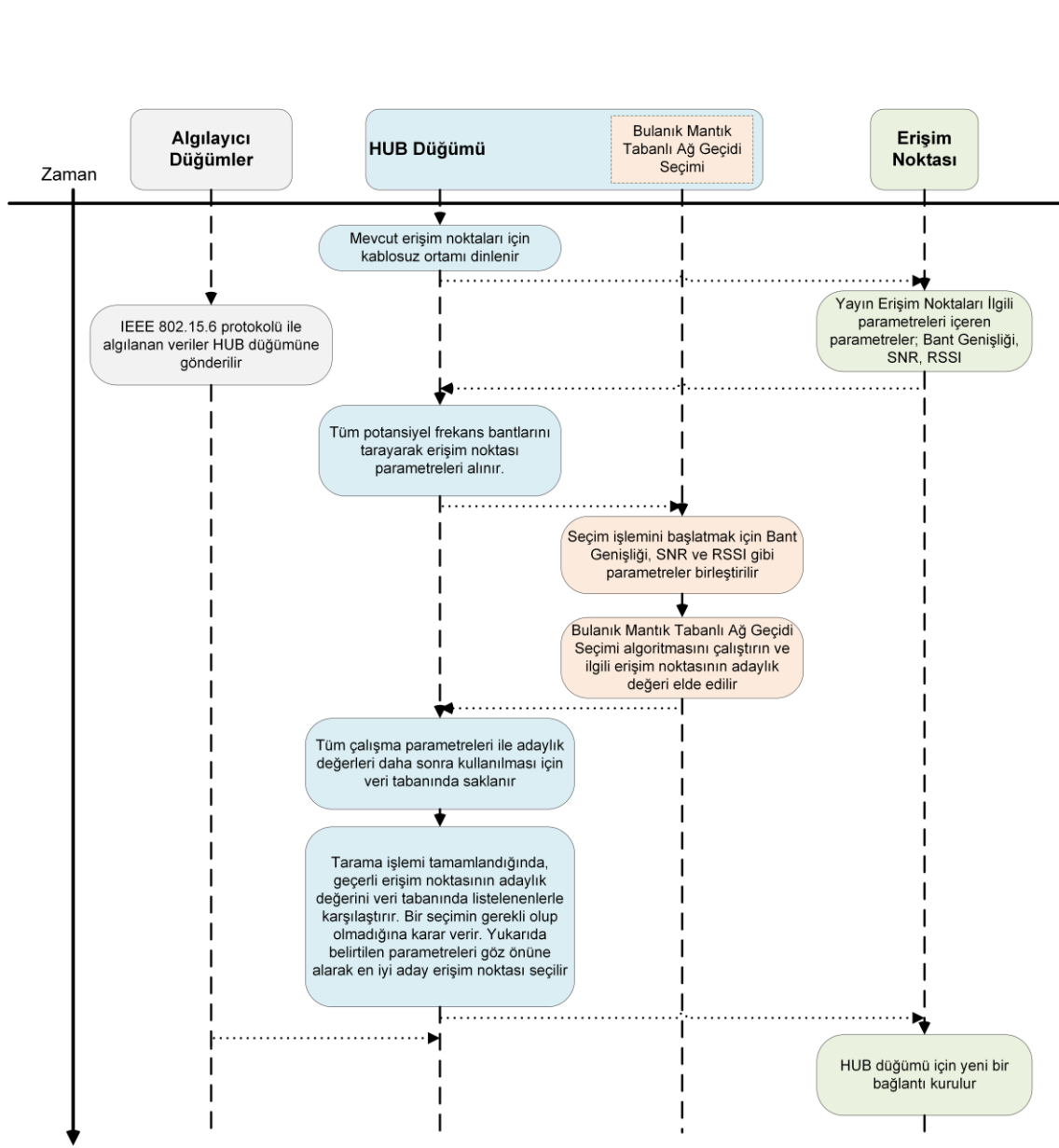
Çizelge 4.5. “if/then” kontrol kurallarının bazıları.

If RSSI Düşük AND SNR Zayıf AND Bant Genişliği Düşük THEN Aday Değeri Düşük
If RSSI Orta AND SNR Orta AND Bant Genişliği Orta THEN Aday Değeri Orta
If RSSI Düşük AND SNR Güçlü AND Bant Genişliği Düşük THEN Aday Değeri Düşük
If RSSI Yüksek AND SNR Zayıf AND Bant Genişliği Yüksek THEN Aday Değeri Düşük
If RSSI Yüksek AND SNR Orta AND Bant Genişliği Yüksek THEN Aday Değeri Yüksek



Şekil 4-18. Örnek bulanık girişler/senaryo içeren çıkışlar.

Önerilen algoritmanın sıra diyagramı Şekil 4-19'da verilmiştir. HUB düğümü, yukarıda belirtilen giriş parametrelerini dikkate alarak potansiyel erişim noktası için frekans bandını periyodik olarak taramaktadır. Herhangi bir erişim noktası tespit edildiğinde, çalışma parametreleri daha fazla düşünmek için bir veri tabanında saklanmaktadır. Tarama işlemi tamamlandıktan sonra HUB düğümü mevcut erişim noktalarının adaylık değerini sırasıyla veri tabanına eklenenlerle karşılaştırmaktadır.



Şekil 4-19. BAS algoritmasının sıra diyagramı.

4.6. ÖZGÜL EMİLİM ORANINA DAYALI DİNAMİK HUB SEÇİM ALGORİTMASI

Karar verme yöntemleri sorunları belirlemek, tercihleri oluşturmak, seçenekleri tahmin etmek ve en iyi seçeneği belirlemek şeklinde bir dizi adım içermektedir. Çok kriterli karar verme problemleriyle başa çıkmak için ilk adım, problemin nasıl tanımlanacağını ve problemde kaç özellik veya kriter bulunduğunu bulmaktır.

IEEE 802.15.6 standardında ifade edilen “HUB düğümlerinin sabit olması yaklaşımı”, bu düğümlerdeki yoğun işlemler nedeniyle enerji tüketimi, ısınma, paket kayıpları gibi bazı sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların çözülmesi amacıyla HUB düğümlerinin dinamik olarak seçilebilmesine imkan tanıyan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Seçim

problemi için KVAA özellikleri ve insan sağlığı açısından değerlendirme parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Literatürde IEEE 802.15.6 standardı için dinamik HUB seçimi ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca farklı standartlar içinde değerlendirme parametreleri bakımından HUB düğümlerinin kablosuz iletim yoğunluğu dikkate alınmamaktadır. Kablosuz iletim konusunda, insan sağlığı için en önemli parametrelerden biri özgül emilim oranıdır (SAR). Dinamik HUB seçim (DHS) algoritmasında SAR değeri çok kriterli karar verme sisteminde bir değerlendirme parametresi olarak ele alınmaktadır.

İletişim cihazlarının (hücreli telefon, Wi-Fi) neden olduğu radyo frekanslı girişim (RFI) olarak da bilinen elektromanyetik girişim (EMI), günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Yayılan EMI miktarı insan vücudu tarafından emilen, kilogram başına watt cinsinden ölçülen SAR değeri ile ifade edilmektedir. İletişim için kullanılan kablolu ve kablosuz cihazların 100 kHz ile 10 GHz arasında değişen bir frekansı bulunmaktadır. Çevremizde birçok iletişim veya elektronik cihazlarından herhangi biri insan dokusuna yaklaşırsa, organlarda sorun yaratabilmektedir. Diğer taraftan insan vücudu üzerinde ya da etrafındaki sabit iletişim cihazları hepsinden daha tehlikeli olabilmektedir. SAR değeri (4.1) denklemindeki gibi ifade edilmiştir [85].

$$S = \left(\frac{d \left(\frac{dW}{dm} \right)}{dt} \right) \quad (4.1)$$

S SAR (W/kg), W watt cinsinden güç (W), m kilogram cinsinden kütle (Kg) ve t saniye cinsinden süre (sn) olarak tanımlanmıştır. Kabul edilen SAR limiti, Federal İletişim Kurulu (FCC) [86] tarafından belirlenen kilogram başına 1,6 watt (1,6 W/kg) SAR seviyesi olarak tanımlanmıştır.

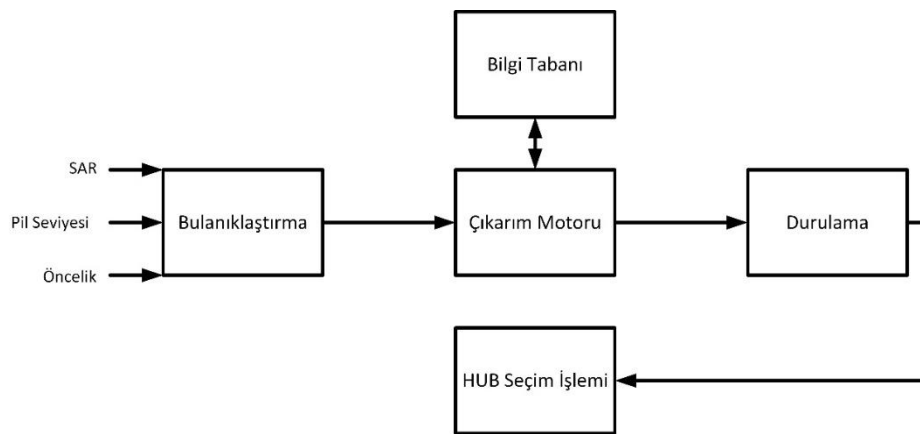
DHS algoritmasında, ikinci parametre pil seviyesi olarak seçilmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümlerin çok küçük olmaları nedeniyle sınırlı pil seviyelerine sahiptir. Özellikle insan vücudu içine yerleştirilen KVAA düğümleri çok sınırlı enerjiye sahip olabilmektedir. Algılayıcı düğümler, enerjilerini daha verimli bir şekilde kullandıklarında daha uzun ağ ömrüne sahip KVAA mimarisini mümkün kılabilirler. Algılayıcı düğümlerden biri HUB olarak seçildiğinde, kontrol ve yönetim işlemlerinden dolayı diğer tüm algılayıcı düğümlerinden çok daha fazla enerji tüketmektedir. KVAA kullanıcılarındaki her algılayıcı düğümünden toplanan tüm veriler HUB düğümü üzerinden hedefe

gönderilmektedir. HUB düğümü çok fazla veri aldığı ve gönderdiği için, SAR değeri aktarım sırasında önemli ölçüde artabilmektedir.

Son değerlendirme parametresi ise IEEE 802.15.6 standardında KVAA düğümleri için özel tanımlanmış öncelik değerleridir. Bu önceliklerle ilgili detaylı bilgiler 4.2.1 bölümünde açıklanmıştır. KVAA mimarisinde çeşitli veri trafikleri bulunmaktadır. Hayati verilerin diğer verilerden çok daha hızlı bir şekilde hedefe aktarılması gerekmektedir. DHS algoritmasında, sabit HUB yaklaşımı yerine düşük öncelikli düğümler HUB olarak seçilebilmektedir. Bu yaklaşımın nedeni yüksek öncelikli düğümlerin yüksek öncelikli paketlere sahip olması ve daha uzun yaşamaya ihtiyaç duymasıdır. KVAA mimarisinde algılayıcı düğümler arasında en iyi aday HUB düğümünün seçilmesinde SAR değeri, pil seviyesi ve öncelik değeri dikkate alınmaktadır.

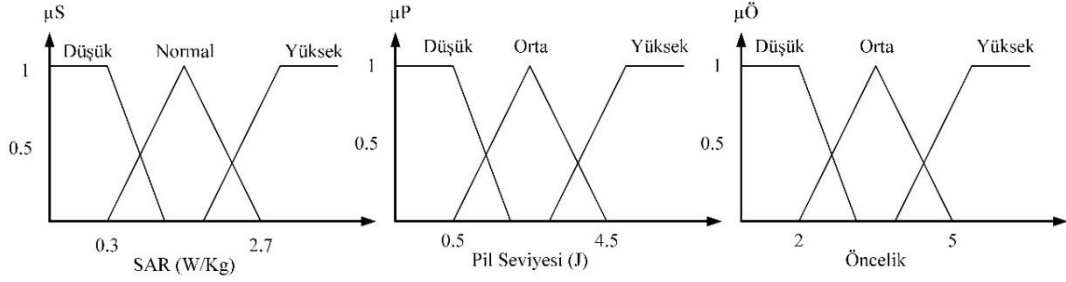
4.6.1. Dinamik HUB Seçim Sürecinde Bulanık Mantık Tekniği

Önerilen DHS algoritmasında kullanılan bulanık mantık temelli HUB seçim süreci, Şekil 4-20'de gösterilmektedir. SAR değeri, pil seviyesi ve öncelik değeri, bulanık sisteme net girdi olan üç değerlendirme parametresidir. Bulanıklaştırıcı ünitesi bu parametreleri alıp, net kümeyi dilbilimsel terimlere dönüştürmektedir. Çıkarım motorunun üyelik fonksiyonları, bulanık mantık operatörleri ve eğer öyleyse kuralları olarak üç işlevi bulunmaktadır. Girdi değişkenlerini üyelik fonksiyonlarıyla kıyaslama görevi bulanıklaştırıcı olarak adlandırılır. Ve daha sonra her kuralın ağırlık derecesi için öncül kısımdaki üyelik değerlerini birleştirme görevi yerine getirilir. Bu adımdan sonra ise nitelikli sonuçlar üretilmektedir. Sistemin son adımı olan “Durulama” aşamasında, net bir sonuç elde etmek için nitelikli sonuçların bir araya getirilmektedir. Bilgi tabanı bir dizi if-then kuralı içermektedir.



Şekil 4-20. Önerilen bulanık mantık tabanlı HUB seçim süreci.

Önerilen bulanık sistemde, kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 4-21'de gösterilmektedir. Her değerlendirme parametresi önerilen bulanık sistemde bir üyelik fonksiyonuna sahiptir. If-then bulanık kurallarının kullanılması, bulanık girişi bulanık çıktıya dönüştürmektedir.



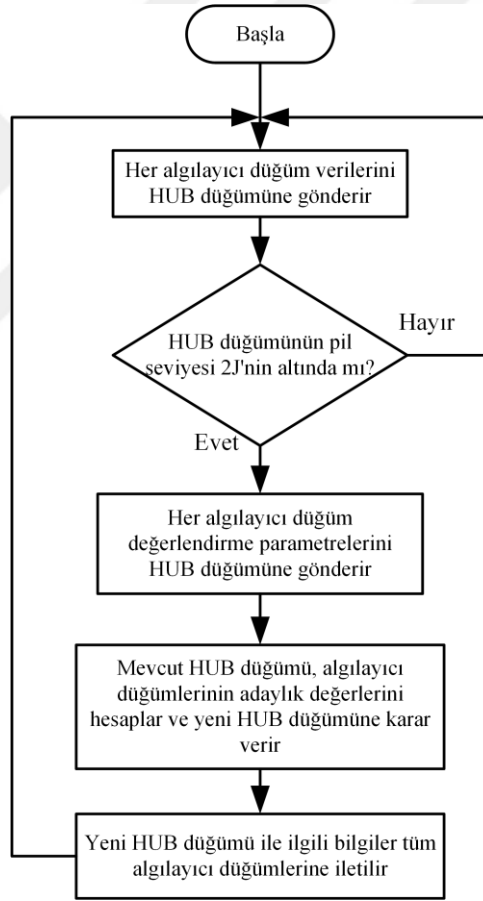
Şekil 4-21. Bulanık sistem üyelik fonksiyonları.

Her üyelik fonksiyonunda üç fonksiyon ve kural tabanına toplam 27 kural yerleştirilmiştir. Bu kuralların bazıları Çizelge 4.6'da verilmiştir. DHS algoritmasının performans analizi için geliştirilen senaryoda sekiz farklı KVAA düğümü ve her bir düğümün SAR değeri, pil seviyesi ve önceliği bulunmaktadır. Bu parametreler önerilen bulanık karar sistemine verilmiştir. Önerilen sistem bu parametreleri alarak çıktıları KVAA algılayıcı düğümlerinin adaylık değeri olarak üretmektedir.

DHS algoritmasının blok şeması, Şekil 4-22'de gösterilmektedir. Tüm algılayıcı düğümler, benzetimin başlangıcında varsayılan HUB düğümüne veri göndermektedir. HUB düğümünün pil seviyesi eşik değeri olarak tanımlanan 2J değerine ulaştığında tüm algılayıcı düğümlere bir bilgi paketi gönderilmekte ve ardından tüm algılayıcı düğümler değerlendirme parametrelerini HUB düğümüne göndermektedir. DHS algoritması tüm düğümlerin adaylık seviyelerini hesaplamakta ve önerilen bulanık HUB seçim sürecine göre en yüksek çıkış değerine sahip en iyi adayı seçmektedir. HUB düğümü seçilen bir sonraki HUB hakkında tüm algılayıcı düğümlere bilgi vermekte ve ardından tüm düğümler yeni HUB düğümüne veri göndermektedir.

Çizelge 4.6. Önerilen sistemdeki bazı kurallar

Kural No	SAR	Öncelik	Pil Seviyesi	Adaylık Seviyesi
7	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
12	Normal	Düşük	Yüksek	Yüksek
15	Normal	Orta	Yüksek	Normal
19	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
24	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük
27	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük



Şekil 4-22. DHS algoritmasının blok şeması.

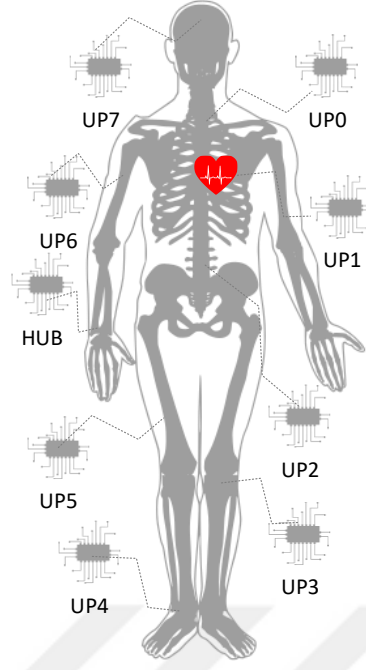
5. YT-KVAA MİMARİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

YT-KVAA mimarisi için farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümleri ile YTA yaklaşımının öne sürdüğü kontrol katmanı elemanı olan denetleyici düğümü Riverbed Modeller benzetim yazılımı ile tasarlanmıştır. Riverbed Modeller [87], haberleşme ağlarının modellenmesinde kullanılan, akademik mecrada yaygın kabul görmüş, nesne yönelimli bir benzetim yazılımıdır. Benzetimi gerçekleştirilen sistemin performans değerlendirmesi ayırık durum benzetimi ile yapılabilmektedir. Hiyerarşik modelleme katmanlarına sahip bu yazılım, ağ ortamında kullanılacak bağlantı hatları, veri paketleri, düğümler, katmanlar ve protokoller ayrı editörlerde hazırlanabilmektedir. Riverbed Modeller yazılımı, editörler yardımıyla yeni protokol modeli tasarlanabilmesi, tasarlanan model ve protokollerin yazılım kütüphanesine eklenebilmesi sayesinde ağ ortamlarında yenilikçi yaklaşımlara destek olmaktadır.

Bu tez kapsamında uluslararası prestijli dergilerde (SCI, SCI-Expanded) yayımlanmış dört farklı çalışmamız bulunmaktadır [88]–[91]. Bu bölümde bu çalışmalarda kullanılan senaryolar ve sonuçlar üzerinde durulacaktır.

5.1. IEEE 802.15.6 OEK TEKNİĞİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde Riverbed Modeller benzetim yazılımı üzerinde gerçekleştirilen IEEE 802.15.6 standardının performans analizi verilmiştir. IEEE 802.15.6, YT-KVAA mimarisinde fiziksel ve veri bağı katmanlarının tanımlandığı, HUB ve ona bağlı algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme standartlarını tanımlayan standarttır. Bu standardın performans analizinde kullanılan benzetim parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu standart kullanılarak gerçekleştirilen senaryonun gecikme, iş çıkarım ve enerji tüketim sonuçları incelenmiştir. Önerilen senaryoda KVAA mimarisi UP0, UP1, UP2, UP3, UP4, UP5, UP6, UP7, HUB düğümü ve ağ geçidi olmak üzere toplamda 10 adet düğümden oluşmaktadır. Şekil 5-1'de IEEE 802.15.6 standardında KVAA-içi haberleşme için kullanılan yıldız topolojisi gösterilmektedir.



Şekil 5-1. IEEE 802.15.6 KVA A-İÇİ haberleşme.

Çizelge 5.1. Benzetim parametreleri.

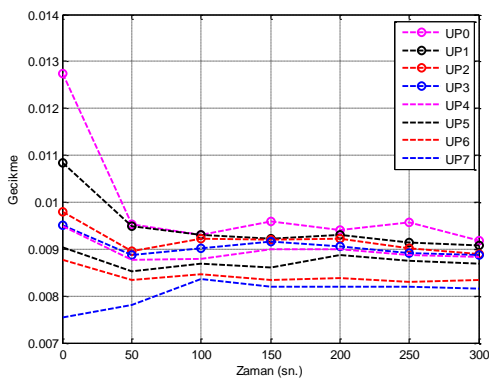
Parametre	Değer
Benzetim süresi	300 saniye
Zaman dilim uzunluğu	100 ms
Frekans	2400-2483.5 GHz
Düğüm sayısı	8 Algılayıcı – 1 HUB
Topoloji	Yıldız (Tek atlamalı)
Rastgele Erişim	CSMA/CA
Bant genişliği	1 MHz
İletim gücü	0.1 W
Veri hızı	971.4 kbps
Paket boyutu	1020 bits
MicaZ pil	2 AA Pil (3V)

Çizelge 4.2’de verildiği gibi algılayıcı düğümlerin sekiz farklı önceliği bulunmaktadır.

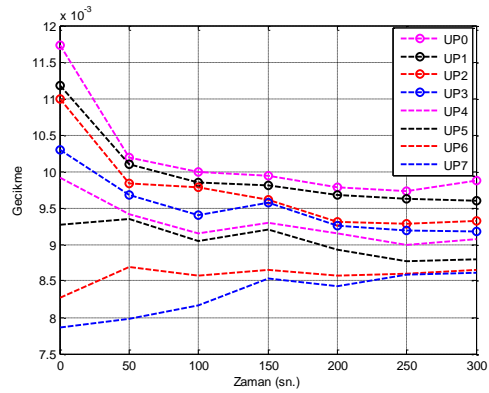
Henüz IEEE 802.15.6 standardını destekleyecek bir donanım üretilmemiştir. Literatürde ise KAA ve KVAA mimarileri için genellikle MicaZ pil değerlerinin kullanıldığı görülmüştür [92]. Bu bağlamda performans analizlerinde MicaZ parametrelerinin veri sayfasında [93] verilen varsayılan değerler temel alınmıştır.

Performans değerlendirmesinde ilk olarak, gecikme sonuçları ele alınmıştır. Şekil 5-2 a)'da saniyede 0.5 paket gönderen farklı öncelikli düğümler için gecikme sonuçları görülmektedir. Farklı paket gönderme hızları için gecikme sonuçları Şekil 5-2 a), b), c), d), e) ve f)'de verilmiştir. Uygulamalar, kaynak ile hedef arasındaki gecikmeyi farklı derecelerde tolere edebilmektedir. Önceliği yüksek ve acil medikal veriler için minimum gecikmeye ihtiyaç duyulurken, önceliği daha düşük periyodik kontrol verilerinde gecikme daha az öneme sahiptir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmış ve gecikme sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür [32], [38].

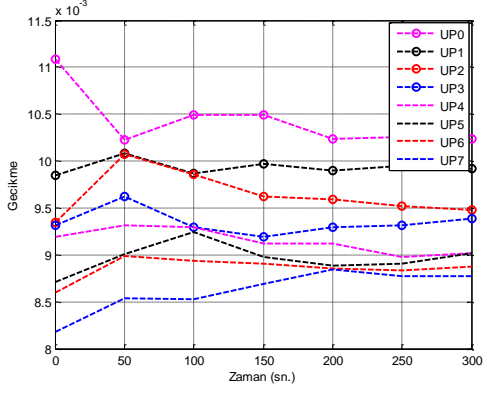
Farklı önceliğe sahip algılayıcı düğümlerinin paket üretim hızları arttıkça, gecikmelerde öncelik seviyelerine göre bir değişim gözlemlenmiştir. Daha yüksek öncelik seviyesine sahip algılayıcı düğümlerin gecikme sonuçlarında daha düşük değişiklik olurken, daha düşük öncelik seviyesine sahip algılayıcı düğümlerin gecikme sonuçlarında daha yüksek değişiklikler saptanmıştır. Bu değişimin en önemli nedeni 802.15.6'da tanımlı farklı ÇP değerlerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek öncelikli algılayıcı düğümler daha küçük ÇP değerlerine sahip olmaları, ortama daha hızlı erişmelerine imkân sunmaktadır. Bu nedenle, gecikme sonuçları düşük öncelikli düğümlere göre daha düşük çıkmaktadır.



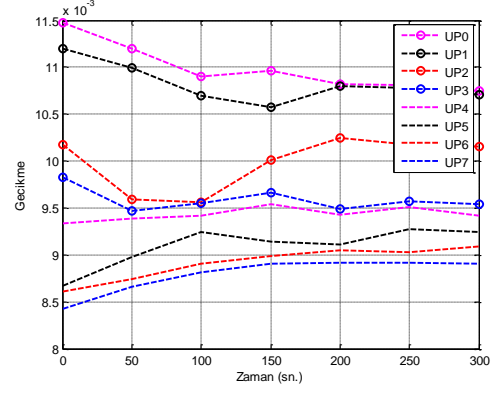
a)



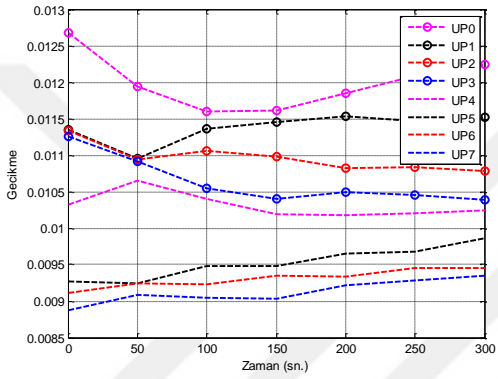
b)



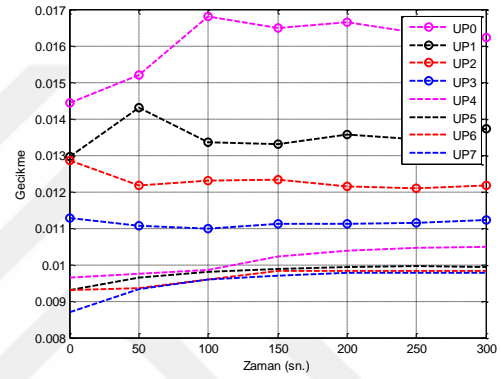
c)



d)



e)

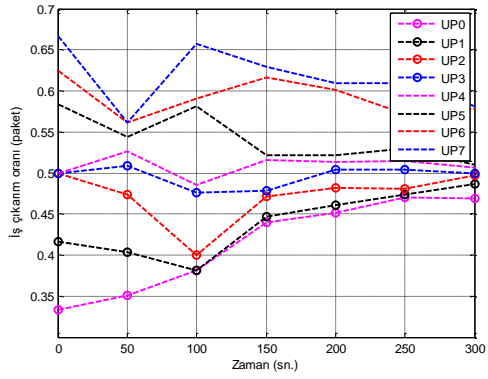


f)

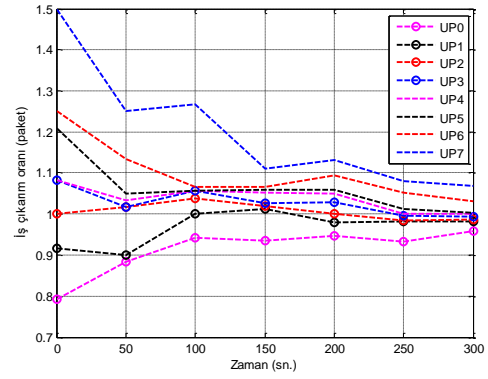
Şekil 5-2. Farklı öncelikli düğümler için a) 0.5 paket/sn. b) 1 paket/sn. c) 2 paket/sn. d) 3 paket/sn. e) 4 paket/sn. f) 5 paket/sn. değerlerindeki gecikme sonuçları.

İş çıkarım oranı, belirli bir zaman diliminde bir düğümden diğerine başarıyla taşınan ve genellikle saniye başına bit veya paketler halinde ölçülen veri miktarı olarak ifade edilmektedir [45]. IEEE 802.15.6 standardına göre geliştirilen senaryonun iş çıkarım oranları da analiz edilmiştir. Farklı paket üretim hızlarına sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarım oranları Şekil 5-3 a), b), c), d), e), f)'de verilmektedir. Elde edilen iş çıkarım sonuçlarının KVAA mimarisi için istenen servis kalite gereksinimlerini karşıladığı [50], [55], literatür sonuçları ile tutarlı olduğu görülmüştür [38], [94]. Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi, farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin farklı paket üretim değerlerinde öncelik seviyelerine uygun iş çıkarım oranına sahip olduğu görülmektedir. Yüksek öncelikli düğümlerin iş çıkarım oranları paket üretim sıklığındaki artıştan daha az etkilendiği, ancak düşük öncelikli düğümlerin iş çıkarım oranları paket üretim sıklığındaki artıştan olumsuz şekilde daha çok etkilendiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar IEEE 802.15.6 standardı için beklenen bir durumdur. Önceliği yüksek

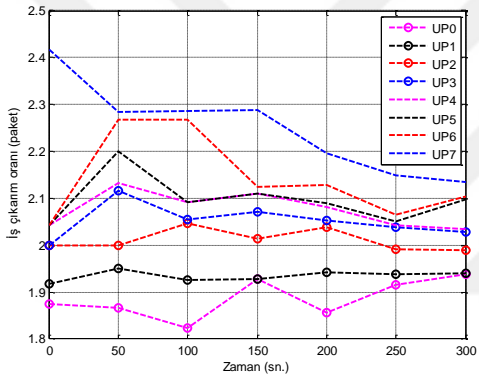
düğümlerin ortama daha hızlı erişmesi paket çakışmalarını ve tekrar paket gönderme ihtimallerini en aza düşürerek iş çıkarm oranlarının düşmesinin de önüne geçmektedir.



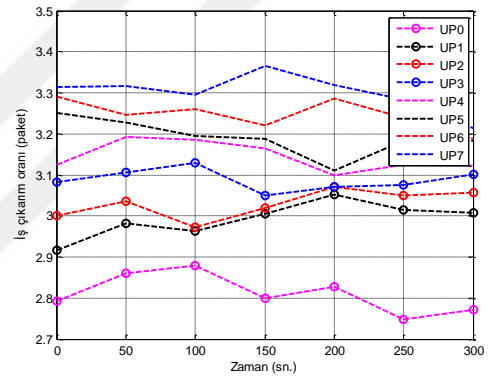
a)



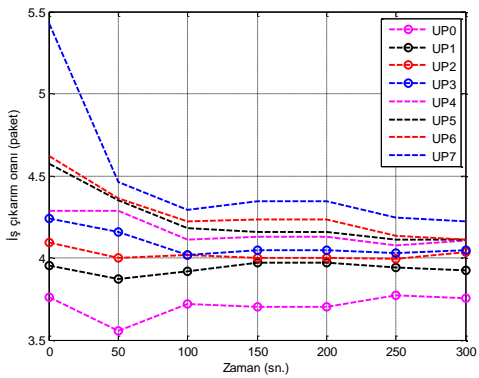
b)



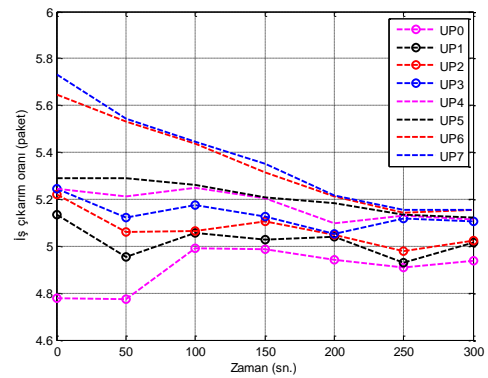
c)



d)



e)

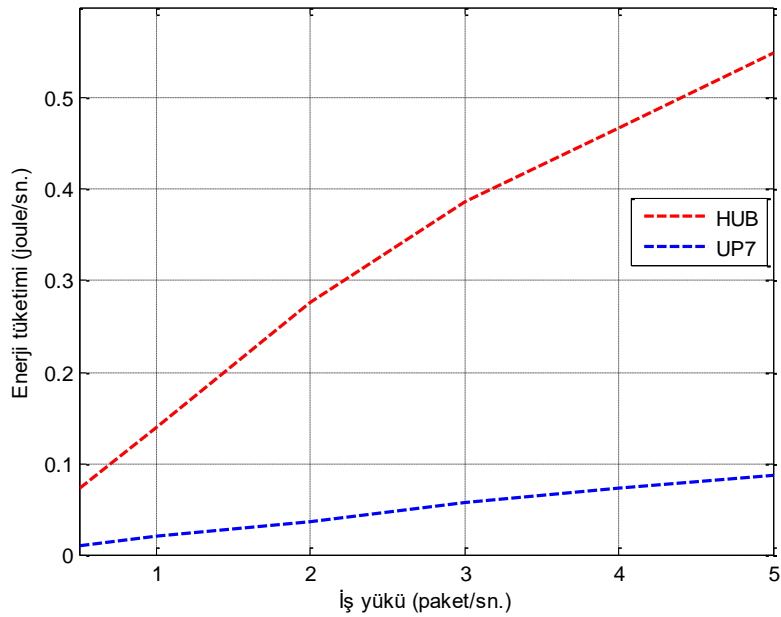


f)

Şekil 5-3. Farklı öncelikli düğümler için a) 0.5 paket/sn. b) 1 paket/sn. c) 2 paket/sn. d) 3 paket/sn. e) 4 paket/sn. f) 5 paket/sn. değerlerindeki iş çıkarm sonuçları.

Şekil 5-4'te farklı iş yükleri için enerji tüketim sonuçları verilmiştir. UP7 ve HUB

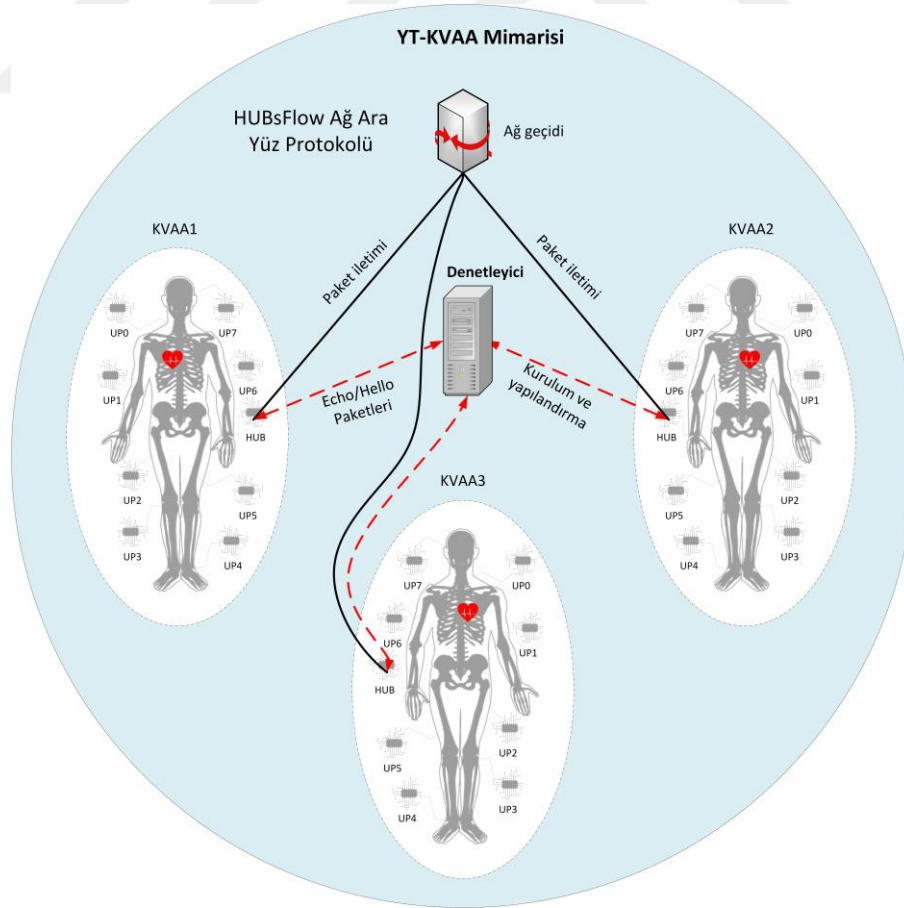
düğümünün farklı iş yüklerindeki enerji tüketim sonuçları ele alınmıştır. Farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin enerji tüketim seviyeleri birbirine çok yakın olduğu için karşılaştırılmamıştır. Bu farkın nedeni de yine farklı ÇP değerlerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek önceliğe sahip olan UP7 düğümü her zaman daha önce ortama erişebilmekte ve bu nedenle daha düşük çarpışma olasılığına sahip olmaktadır. Bununla birlikte, UP0 gibi en düşük öncelikli düğüm ortama daha geç erişebilmektedir. Bu nedenle bu düğümlerde çarpışma ve yeniden paket gönderme olasılığı daha çok yaşanmaktadır. Sonuç olarak, paket kayıpları ve ardından aynı paketi yeniden gönderme süreci daha fazla enerji tüketimine sebep olmaktadır. HUB düğümü ve UP7 algılayıcı düğümü karşılaştırıldığında ise HUB KVAA-içi haberleşmede tüm algılayıcı düğümlerin kontrol ve yönetim işlemlerini gerçekleştirmekte ve kendisine bağlı algılayıcı düğümlerden sürekli paket almaktadır. Bu nedenle de diğer düğümlere göre daha çok enerji harcadığı görülmektedir. HUB düğümünün diğer düğümlere göre daha çok enerji harcaması IEEE 802.15.6 standardı için normal bir durumdur. Ancak her bir KVAA mimarisinin ömrü HUB düğümüne bağlı olması nedeniyle de olumsuz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda HUB düğümünün ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli algoritmalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürde yapılan bazı çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir [38], [55].



Şekil 5-4. Farklı iş yükleri için enerji tüketim sonuçları.

5.2. HUBsFLOW AĞ ARA YÜZ PROTOKOLÜNÜN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde YT-KVAA mimarisinin veri ve kontrol düzlemlerinde hem denetleyici hem de HUB düğümleri tarafından anlaşılabilir belirlen kuralları, paket biçimlerini, kontrol mesajlarını tanımlayan, HUB düğümlerinin programlanabilmesine imkân sunan HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün performansı incelenmiştir. Şekil 5-5'te HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün performans analizi için örnek bir senaryo verilmiştir. Geliştirilen ilk senaryoda 24 adet algılayıcı düğüm, 3 adet HUB düğümü, birer adet denetleyici ve ağ geçidi bulunmaktadır. YT-KVAA mimarisine ait bu senaryo, geleneksel KVAA mimarisi ile karşılaştırılmıştır. Geleneksel KVAA mimarisindeki ikinci senaryoda ise denetleyici bulunmamakta ve KVAA-arası haberleşme içinde alternatif geri çekilme ikili üstel fonksiyonunun olmadığı çekişme bazlı geleneksel CSMA/CA çoklu erişim tekniği kullanılmaktadır. Bu şekilde HUB düğümleri kuyruklarındaki paketleri göndermek için sürekli olarak ortamı sezmek ve ortam müsait olduğunda paketlerini ağ geçidine göndermektedir.



Şekil 5-5. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün performans analizi için örnek senaryo.

Her bir HUB düğümü farklı önceliğe sahip, farklı veri hızları olan 8 adet algılayıcı düğümü yönetmektedir. Bu algılayıcı düğümler sırasıyla en düşük öncelik değerine sahip düğümden en yüksek öncelik değerine sahip düğüme doğru (UP0, UP1, UP2, UP3, UP4, UP5, UP6, UP7) kategorize edilmiştir. UP7 10 paket/saniye, UP6 5 paket/saniye, UP5 2 paket/saniye, UP4 1 paket/saniye, UP3 0.5 paket/saniye, UP2 0.1 paket/saniye, UP1 ve UP0 0.05 paket/saniye veri hızlarına sahiptir. KVAA mimarisinin heterojen ağ yapısına sahip olması nedeniyle farklı veri hızlarına sahip algılayıcı düğümler tercih edilmiştir. Örneğin UP7 algılayıcı düğümleri EKG medikal verisi gönderdiği varsayıldığında, ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık medikal uygulama sınıfları gereği 72000 bit/saniye veri göndermesi gerekmektedir. Bu şekilde her öncelik sınıfına ait algılayıcı düğümler “sıcaklık, SpO2, ivmeölçer, glikoz” gibi farklı medikal verileri ölçmektedir. Çizelge 5.2’de benzetim programında kullanılan parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Benzetim parametreleri.

Parametreler	Değerler	
Benzetim süresi	300 sn.	
Zaman dilimi uzunluğu	100 msn.	
Frekans	2400 - 2483.5 GHz	
Algılayıcı düğüm ve HUB sayısı	24 - 3	
Denetleyici sayısı	1	
HUB durum iletim periyodu	15 sn.	
Band genişliği	1 MHz	
Veri hızı	971.4 kbps	
Paket boyutu	100 bayt	
Paket gelişler-arası süresi (Üstel dağılım fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir.)	UP7 = 0.1 sn.	UP3 = 2 sn.
	UP6 = 0.2 sn.	UP2 = 10 sn.
	UP5 = 0.5 sn.	UP1 = 20 sn.
	UP4 = 1 sn.	UP0 = 20 sn.
MicaZ parametreleri [92], [93]		

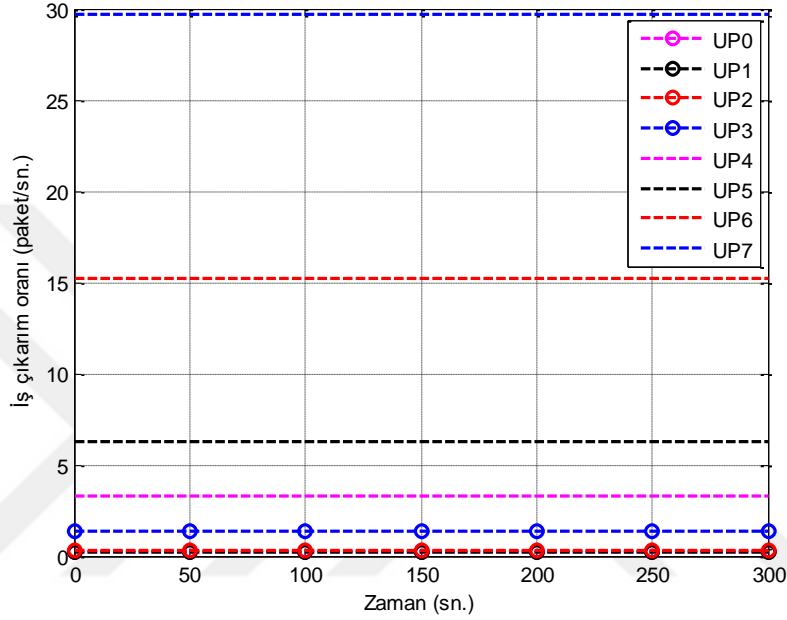
Çizelge 5.2. (devam) Benzetim parametreleri.

Pil	2 AA (3 V)
Başlangıç enerji değeri	50 Joule
P_{TX} (Paket alma durumunda tüketilen güç)	0 dBm = 17.4 mA
P_{RX} (Paket iletim durumunda tüketilen güç)	27.7 mA
$P_{Boşta}$ (Boş durumda tüketilen güç)	35 μ A
P_{Uyku} (Uyku durumunda tüketilen güç)	16 μ A

Şekil 5-6’da farklı öncelik sınıflarına ait KVAA algılayıcı düğümlerinin iş çıkarma oranları verilmektedir. Heterojen ağ yapısına sahip KVAA mimarisinde, her bir KVAA algılayıcısının farklı öncelik sınıfları (çekişme pencere aralıkları) ve kendilerine atanmış görevlerden dolayı farklı veri hızları bulunmaktadır. Özellikle öncelik seviyesi en yüksek algılayıcı düğüm verilerinin, başarılı bir biçimde hedefe ulaşması hayati önem taşıyabilmektedir. Algılayıcı düğümlerin normal ve anormal durumları algılanma becerileri, veri iletim hızlarında ani değişimlere sebep olabilmektedir. Bu bağlamda senaryolarda tüm algılayıcı düğümlerde paket üretim sıklığı için üstel dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. YT-KVAA mimarisinde, denetleyici kontrolündeki ağ ortamında tüm öncelikli paketlerin başarılı bir biçimde hedefe ulaştığı görülmektedir. Birden fazla HUB düğümü denetleyici yardımıyla KVAA-arası paylaşılan kablosuz haberleşme ortamını etkili ve verimli bir biçimde kullandığı görülmektedir.

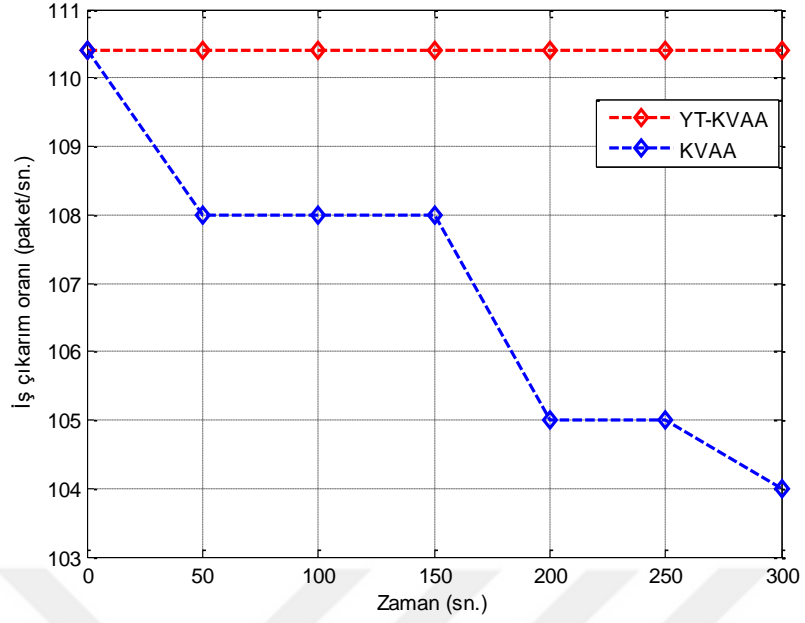
Şekil 5-7’de YT-KVAA mimarisi ile geleneksel KVAA mimarisi arasındaki iş çıkarma oranları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. YT-KVAA mimarisinde tüm öncelikli paketlerin kayıpsız bir biçimde iletildiği görülürken, geleneksel KVAA mimarisinde ise bazı paketlerin iletilmediği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, geleneksel KVAA mimarisi için çekişme tabanlı dağıtık OEK tekniği olan CSMA/CA protokolünün kullanılmasıdır. YT-KVAA mimarisinde ise ağ kontrol ve yönetim süreçlerini daha esnek, programlanabilir ve enerji duyarlı hale dönüştürmek için geliştirilen merkezi ve çekişmesiz HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün kullanılması fayda sağlamıştır. Tüm öncelikli algılayıcı düğümlerin, yoğun bir biçimde ortama erişmeye çalışması hem öncelik seviyesi düşük düğümlerin hem de HUB düğümlerinin ortama erişmesinde

sorunlar yaratmış, ortamı sürekli meşgul görmesine sebep olmuş ve iş çıkarma oranını da düşürdüğü görülmüştür. Özellikle KVAA-arası haberleşmelerde paket çakışmaları, açlık ve gürültü gibi sorunlar dağıtık OEK tekniklerinde sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bu bağlamda ağın genel görünümüne sahip bir denetleyici tarafından ağ ortamının yönetilmesi ve koordine edilmesi dinamik ağ koşulları açısından daha esnek bir ağ yaklaşım imkânı sunmaktadır.



Şekil 5-6. YT-KVAA mimarisi için farklı önceliklere ait iş çıkarma oranı.

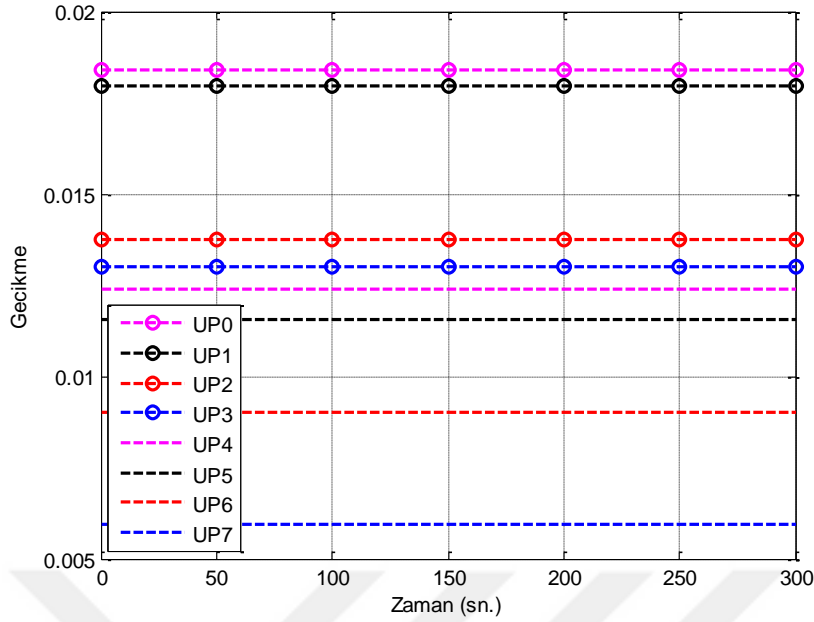
HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün, ağın performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca YT-KVAA mimarisinde, denetleyici üzerinde gerçekleştirilen kanal birleştirme tekniğinin de ağ performansını olumlu etkilediği görülmektedir. Yüksek önceliğe sahip ve yüksek veri miktarı gönderecek olan düğümler, bu verilerini öncelikle HUB düğümlerine iletmektedir. Bu nedenle bazı durumlarda HUB düğümlerine birden fazla zaman diliminin tahsis edilmesi önemli bir husustur. Denetleyici kanal birleştirme tekniği yardımıyla gereken durumlarda HUB düğümlerine birden fazla zaman dilimi tahsis edebilmektedir.



Şekil 5-7. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin iş çıkarım oranları.

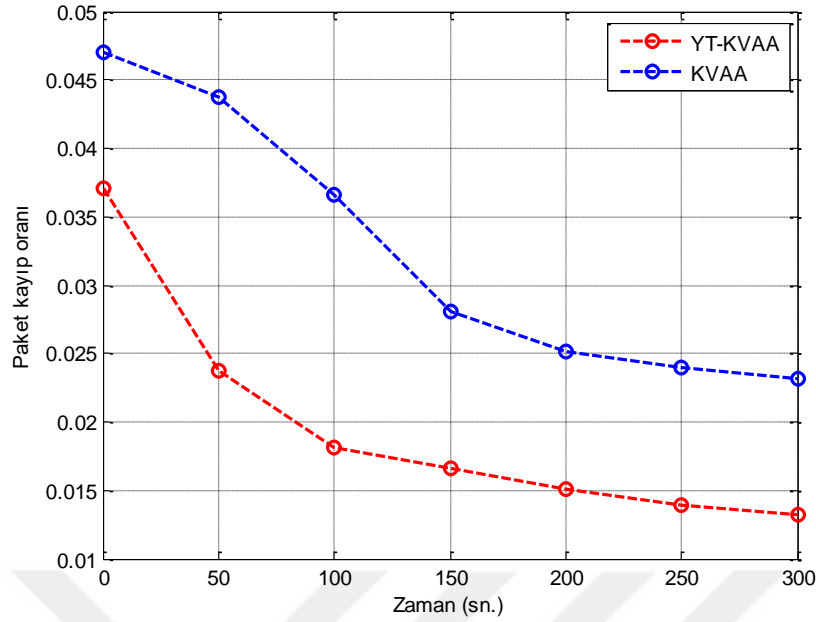
Şekil 5-8’de YT-KVAA düğümlerinin farklı öncelik sınıflarına ait uçtan uca gecikme oranları verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere en az gecikme değeri öncelik seviyesi en yüksek algılayıcı düğümlerde (UP7) görülmektedir. En yüksek gecikme ise en az önceliğe sahip algılayıcı düğümlere (UP0) aittir. Bu gecikme değerleri arasındaki fark, KVAA-içi haberleşmede kullanılan IEEE 802.15.6 standardının öncelik sınıfları için tanımladığı farklı ÇP değerleri ile bu değerlerin farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlere atanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Geleneksel ağ altyapısına sahip KVAA mimarisi, öngörülebilir performans garantisi olmadan en iyi performansı sağlayabilmek amacıyla tasarlanmıştır. En iyi performans, genellikle gecikmeye duyarlı olmayan bir trafik için yeterlidir. Bazı medikal veriler tarafından oluşturulan gerçek zamanlı trafik gecikmeye duyarlıdır. Bu nedenle özellikle bazı özel durumlar için garantili ve öngörülebilir performans gerekmektedir.

HUB düğümlerinin tüm ağın topolojisine sahip bir denetleyici yardımıyla, KVAA-arası haberleşme için paylaşılan ortama erişmesi önemli bir gecikmeye sebep olmamıştır. HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün YT-KVAA mimarisi için gecikmeleri arttırmadığı aksine daha uygun değerlere düşürdüğü de görülmektedir. Elde edilen bu gecikmeler ISO/IEEE 11073 standardında belirtilen servis kalite gereksinimlerini de karşılamaktadır.



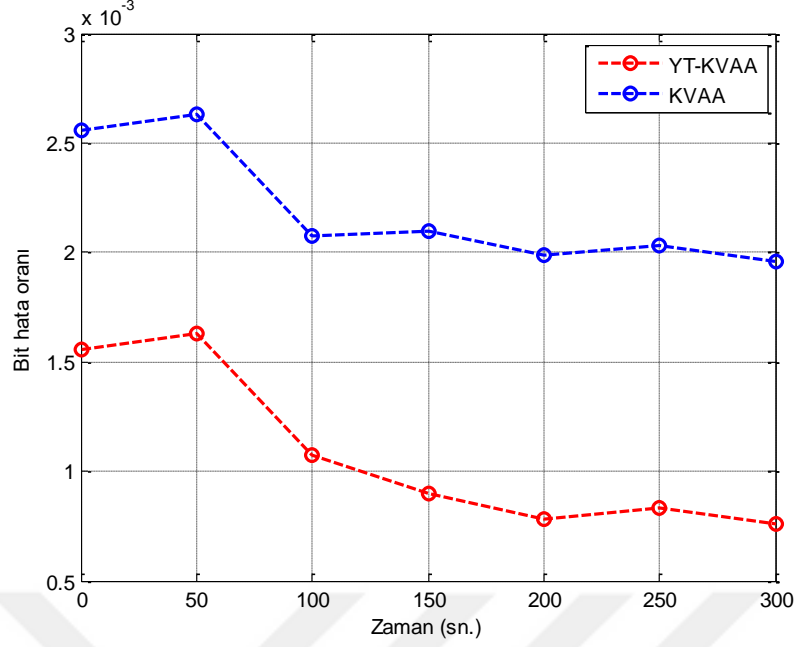
Şekil 5-8. YT-KVAA mimarisi için farklı önceliklere ait gecikme sonuçları.

Şekil 5-9’da YT-KVAA ile geleneksel KVAA mimarisi arasındaki paket kayıp oranı sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Kablosuz haberleşme performansını ciddi şekilde etkileyen parametrelerden biri iletim sırasında kaybedilen paketlerin sayısıdır. Bir HUB düğümü başka bir paketi işlerken bir paket aldığı anda, alınan paketin sırasını beklerken bellekte saklanması gerekir. Ancak HUB düğümleri sınırlı bellek kapasitelerine sahiptir. Bellek dolduğunda bir sonraki paketin bırakılması gerekebilmektedir. Paketin yeniden gönderilmesi, bazı durumlarda taşma oluşması ve daha fazla paket kaybı oluşabilmektedir. Ayrıca algılayıcı düğümlerdeki hareketlilik durumları paket kayıp oranını arttıran etkenlerdendir. YT-KVAA mimarisinde paket kayıp oranının düşük olduğu görülürken, geleneksel KVAA mimarisinde bu değerin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni yine OEK için kullanılan farklı yaklaşımlara dayanmaktadır. Birden fazla HUB düğümünün, farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerden aldıkları paketleri uygun sıra ve doğru bir biçimde karşı tarafa iletebilmek için en uygun zaman dilimini sezme durumunda kalması, dağıtık OEK yaklaşımı paket kayıp oranlarını da arttırmaktadır. Bu bağlamda dağıtık ve çekişme tabanlı OEK teknikleri kullanılarak yapılacak her türlü işlem gecikme, enerji kaybı, paket kayıpları gibi dağıtık OEK tekniklerinin beraberinde getirdiği bazı dezavantajların yaşanmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle HUB düğümleri arasında koordinasyon imkânı sunan denetleyici, paket kayıp oranlarının da düşmesini sağlamıştır.



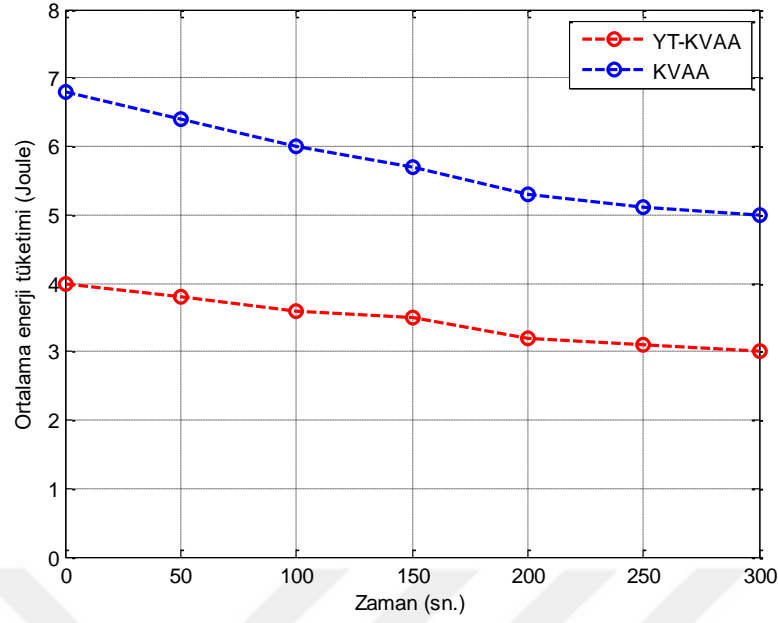
Şekil 5-9. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin paket kayıp oranları.

Şekil 5-10’da YT-KVAA ile geleneksel KVAA mimarisi arasındaki bit hata oranı sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. YT-KVAA mimarisinde bit hata oranının düşük olduğu görülürken, geleneksel KVAA mimarisinde bit hata oranının yüksek olduğu görülmektedir. Riverbed Modeler benzetim yazılımında performans değerlendirmesi için önemli parametrelerden biri olan “Bit Hata Oranı” farklı veri hızları için değişebilmektedir. KVAA-arası haberleşmede ortak kanal etkileşimi bit hata oranını daha da güçlü etkilemektedir [95]. Bu bağlamda, HUB düğümlerinin paylaşılan ortama erişimi için uygun zaman dilimlerine HUBsFlow ağ ara yüz protokolü ve ağın genel görünümüne sahip denetleyici yardımıyla erişebilmesi, hem ortamda çekişmenin olmamasını, hem de bit hata oranının düşmesini sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, KVAA mimarisi için önemli bir başarı parametresi olan bit hata oranını, ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardında belirtilen servis kalite gereksinimlerini karşılayabildiğini göstermektedir. Diğer taraftan geleneksel KVAA mimarisinde KVAA-arası haberleşme için ağın kontrol ve yönetim işlemlerini gerçekleştirecek, tüm HUB düğümlerini koordine edecek bir denetleyicinin olmaması bit hata oranına olumsuz etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5-10. Geleneksel KVAA ile YT-KVAA mimarilerinin bit hata oranları.

Şekil 5-11’de YT-KVAA ile geleneksel KVAA mimarisi arasındaki ortalama enerji tüketimi sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. YT-KVAA mimarisinde ortalama enerji tüketiminin düşük olduğu görülürken, geleneksel KVAA mimarisinde bu değerin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, geleneksel KVAA mimarisindeki algılayıcı düğümlerin gerekli gereksiz sürekli veri okumaları yapmasıdır. Bu durum gereksiz bant genişliği israfına ve enerji tüketimine sebep olmaktadır. YT-KVAA mimarisinde ise HUB düğümleri ortam erişimi için gerekli zaman dilimlerini sürekli sezmek zorunda kalmaması enerji verimliliğine olumlu katkı sağlamaktadır. Sürekli ortamı sezmek zorunda kalan geleneksel KVAA mimarisindeki HUB düğümlerinin enerji tüketimi de artmaktadır. Geleneksel dağıtık ve çekişme bazlı CSMA/CA protokolü enerji duyarlı değildir. YT-KVAA mimarisi için önerilen HUBsFlow ağ ara yüz protokolünün ise enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla ortamda HUB düğümlerini yöneten ve koordine eden bir denetleyicinin enerji verimliliği açısından olumlu bir etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 5-11. Geleneksel KVAA ile Yt-KVAA mimarilerinin ortalama enerji tüketimi.

5.3. YÖNLENDİRME ALGORİTMALARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde Yt-KVAA mimarisi için geliştirilen merkezi, reaktif ve enerji duyarlı iki farklı yönlendirme algoritmasının (SDNRouting, ESR-W) performans analiz sonuçları verilmiştir.

5.3.1. SDNRouting Yönlendirme Algoritmasının Performans Değerlendirmesi

Önerilen enerji duyarlı yönlendirme algoritmasının (SDNRouting) performansını değerlendirmek amacıyla iki adet senaryo kullanılmıştır. İlk senaryoda 10 adet HUB düğümünden biri ağ geçidi kapsama alanı dışında kalmış ve tek atlamalı bir yönlendirme işleminin denetleyici yardımıyla gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu senaryoda farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarım oranları, gecikme sonuçları, başarılı iletim oranları ve enerji tüketimleri incelenmiştir. Ayrıca SDNRouting algoritması, geleneksel yönlendirme algoritması (her algılayıcı düğümün kendi rotasını kendi belirlediği) ile yönlendirme algoritması olmayan (kapsama alanı içinde ve dışında da olsa paketler önceden tanımlı hedefe gönderdiği) senaryolarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SDNRouting enerji tüketim seviyesi ve başarılı iletim oranı açısından diğer iki yaklaşıma göre daha iyi performans göstermiştir.

İkinci senaryoda ise 20 adet HUB düğümü bulunmaktadır. 9 adet HUB düğümü, ağ geçidi kapsama alanı dışında bırakılarak yönlendirme işlemi yine denetleyici yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yeni rota bilgisi HUB düğümü tarafından denetleyiciden talep edilerek reaktif bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Reaktif yönlendirme yaklaşımı seçilmesindeki amaç, ağda sürekli yeni rotaların bulunması ve güncellenmesi için gerçekleştirilecek gereksiz ağ trafiğini azaltmaktır. Bu bağlamda gerçekleştirilen senaryoda bir HUB düğümünün denetleyiciden yeni bir rota talep etmesi, denetleyicinin komşuluk tablolarından elde ettiği verileri kullanarak Dijkstra algoritması aracılığıyla en uygun rotayı bulması ve ilgili tüm HUB düğümlerine bu rotaları akış kuralı olarak atması ile gerçekleştirilmektedir. UP7 2 paket/saniye, UP6 2 paket/saniye, UP5 1 paket/saniye, UP4 1 paket/saniye, UP3 0.5 paket/saniye, UP2 0.5 paket/saniye, UP1 ve UP0 0.05 paket/saniye veri hızına sahiptir. Çizelge 5.3'te her iki senaryoda da kullanılan benzetim parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Benzetim parametreleri.

Parametre	Değer
Benzetim süresi	1200 s
Çalışma alanı	300m x 300m
Frekans	2400 - 2483.5 GHz
Denetleyici sayısı	1
Protokol	IEEE 802.15.6 KVAA-içi HUBsFlow KVAA-arası
Bant genişliği	1 MHz
Veri hızı	971.4 kbps
Paket boyutu	1020 bit
Başlangıç enerji değeri	10 J
Eşik enerji değeri	2 J
Algılayıcı ve HUB düğüm sayısı	80 – 10 (<i>Senaryo 1</i>) 160 – 20 (<i>Senaryo 2</i>)
MicaZ parametreleri	Çizelge 5.2'deki parametre değerleri kullanılmıştır.

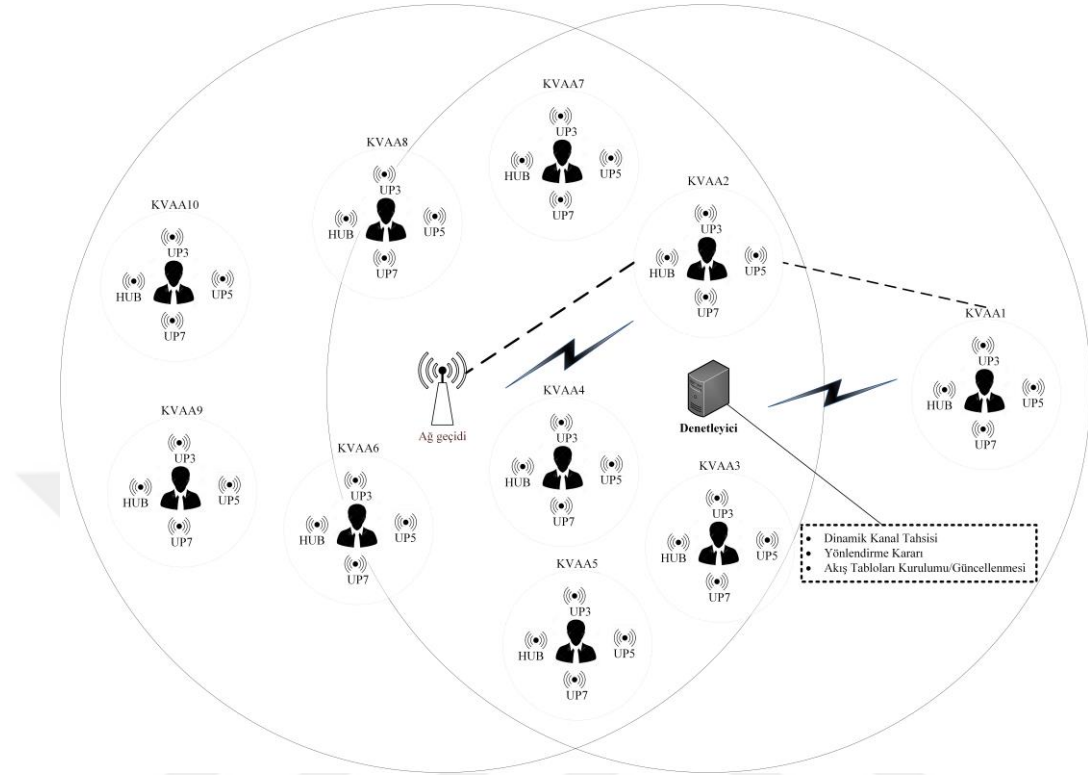
5.3.1.1. Senaryo 1

Bu senaryoda her bir HUB düğümüne bağlı farklı önceliklere sahip 8 adet algılayıcı düğüm bulunmaktadır. Toplamda 80 adet algılayıcı, 10 adet HUB düğümü ile birer adet ağ geçidi ve denetleyici bulunmaktadır. Her bir HUB düğümü ile kendisine bağlı algılayıcı düğümler arasında haberleşme için (KVAA-içi) IEEE 802.15.6 standardı kullanılmıştır. HUB düğümleri, denetleyici ve ağ geçidi arasında haberleşme için (KVAA-arası) ise HUBsFlow ağ ara yüz protokolü kullanılmıştır. Denetleyici KVAA-arası haberleşmede gerekli kontrol ve yönetim işlemlerini yürütmekte ve her bir HUB düğümü için dinamik olarak uygun zaman dilimi tahsisi, akış tablo kurulumu/güncellenmesi ve yönlendirme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu sayede heterojen ve karmaşık bir ağ yapısına sahip KVAA mimarisi mantıksal olarak merkezi bir noktadan yönetilebilmektedir. Bu yaklaşım ile ağ kontrol ve yönetim işlemleri, hem daha esnek hem de daha dinamik hale dönüştürülmüştür.

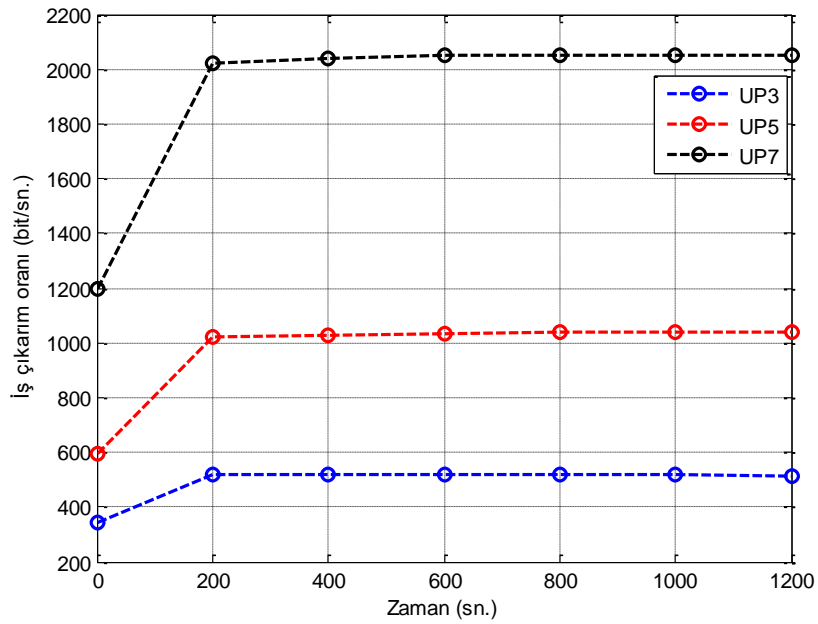
Şekil 5-12'de tek atlamalı yönlendirme algoritma senaryosu verilmiştir. Bu senaryoda sadece KVAA1 isimli kullanıcı ağ geçidi kapsama alanı dışında kalmaktadır. Denetleyici yardımıyla ortama erişmeye çalışan tüm kullanıcılar gibi KVAA1'de ortama erişim sağlamaya çalışmaktadır. Diğer HUB düğümlerinde farklı olarak kapsama alanı dışında kalan KVAA1, benzetim süresinin 5. saniyesinde denetleyiciden rota talep etmektedir. Denetleyici tarafından gerçekleştirilen yönlendirme işlemi aracılığıyla KVAA1 kuyruğundaki paketleri ağ geçidine ulaştırmaktadır.

Şekil 5-13'te KVAA1 kullanıcılarının farklı öncelikli paketlerine ait iş çıkarım oranları görülmektedir. Bu farklı öncelikler 4.2.1 bölümünde detaylıca açıklanmıştır. Performans değerlendirmesinde elde edilen sonuçların daha düzenli ve net görünmesi amacıyla sekiz farklı öncelik paketinden sadece üçü (UP7, UP5 ve UP3) ele alınmıştır. İlk senaryoda ifade edildiği üzere ağ geçidi kapsama alanı dışında kalan KVAA1 kullanıcısı, benzetim süresinin 5. saniyesinde denetleyiciden uygun rota talep etmektedir. Kendisine bağlı 8 farklı önceliğe sahip tüm düğümlerden paket almaya devam eden KVAA1 kullanıcısı, denetleyici yardımıyla farklı öncelikli paketlerini (UP7, UP5 ve UP3) ağ geçidine başarılı bir biçimde ilettiği görülmektedir. Denetleyici, KVAA1 kullanıcısına hem KVAA-arası haberleşme için uygun zaman dilimi tahsis etmiş hem de SDNRouting yönlendirme algoritması sonucu uygun rota bilgisi akış kuralı olarak atanmıştır Böylece KVAA1 kullanıcısı, ağ geçidine KVAA2 kullanıcısı üzerinden ulaşmıştır. SDNRouting algoritmasının farklı öncelikli paketlere duyarlı olduğu elde edilen sonuçlardan da

görülebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, servis kalite gereksinimlerini karşılamış [32], [55], literatürdeki çalışmalarla da tutarlı bulunmuştur [38], [94].



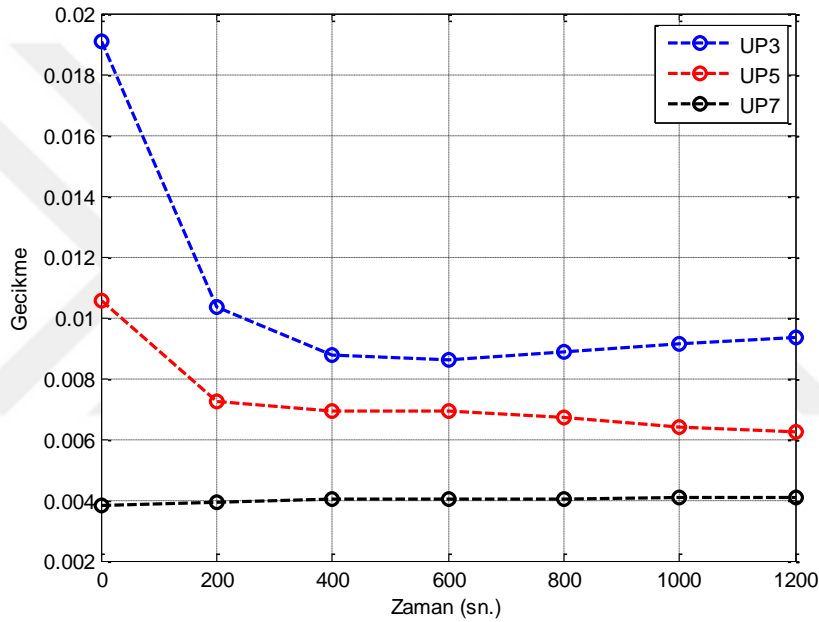
Şekil 5-12. Tek atlamalı yönlendirme algoritma senaryosu.



Şekil 5-13. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için iş çıkartım oranları.

Şekil 5-14'te KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketlerine ait uçtan uca gecikme

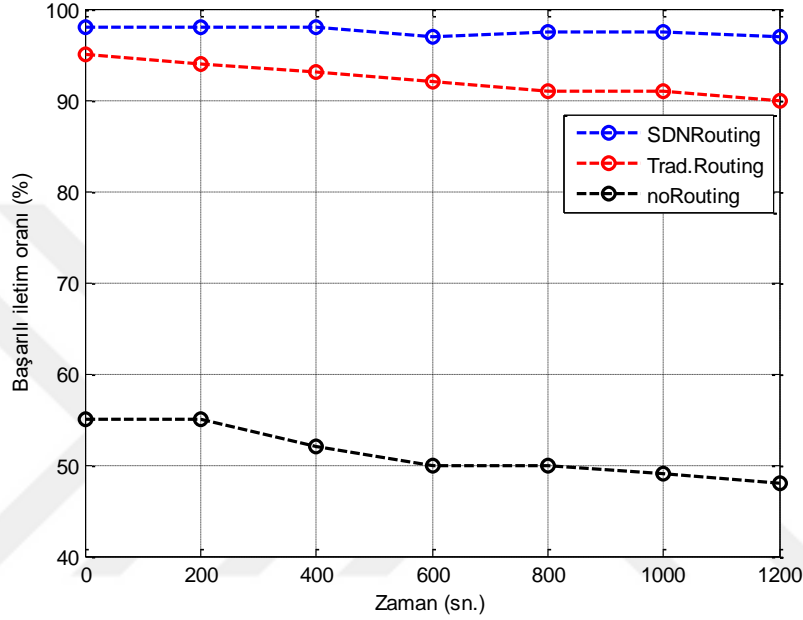
sonuçları verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi en az gecikme değeri, öncelik seviyesi en yüksek paketlerde (UP7) görülmektedir. En yüksek gecikme ise daha düşük önceliğe sahip paketlere (UP3) aittir. Bu gecikme değerleri arasındaki fark, IEEE 802.15.6 standardında öncelik sınıfları için tanımlanmış olan farklı ÇP değerlerinin farklı önceliklere ait düğümlere atanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Daha küçük ÇP değerine sahip UP7 düğümü paketlerini daha hızlı gönderilebilmektedir. Daha öncelikli ortam erişim şansı ve daha düşük çarpışma olasılığı gecikmeyi de düşürdüğü görülmektedir. Bu gecikmelerin, ISO/IEEE 11073 standardında belirtilen servis kalite gereksinimlerini karşıladığı ve literatürdeki sonuçlarla tutarlı olduğu görülmüştür [37], [94].



Şekil 5-14. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için uçtan uca gecikme sonuçları.

Şekil 5-15'te farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları verilmiştir. YT-KVAA mimarisi için geliştirilmiş olan ve denetleyici üzerinde çalışan enerji duyarlı yönlendirme algoritması (SDNRouting), geleneksel yönlendirme ve yönlendirmesiz algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Başarılı iletim oranları karşılaştırıldığında, SDNRouting yaklaşık %98, geleneksel yönlendirme (Trad. Routing) yaklaşık % 95 ve yönlendirmesiz (noRouting) yaklaşık %52 olarak bulunmuştur. Bu üç yaklaşımın sonuçları göz önüne alındığında, SDNRouting algoritmasının daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, tüm ağın topolojisi bilgisine sahip denetleyicinin yönlendirme sürecine dâhil olmasıdır. HUB düğümleri, akış tabloları yardımıyla sadece veri iletimini

yönetirken, denetleyici yönlendirme karar işlemlerini gerçekleştirmektedir. Geleneksel yönlendirme algoritmasında, SNR ve pil seviyesi göz ardı edilmekte ve paketler belli bir süre sonra ağ geçidine ulaşamamaktadır. noRouting algoritmasında ise paketlerin rastgele bir sonraki düğüme gönderilmesi bazı düğümlerde paketlerin kaybolmasına sebep olmaktadır. SDNRouting'te, hem SNR hem de pil seviyesinin dikkate alınması başarılı iletim oranını arttırdığı gözlemlenmiştir.



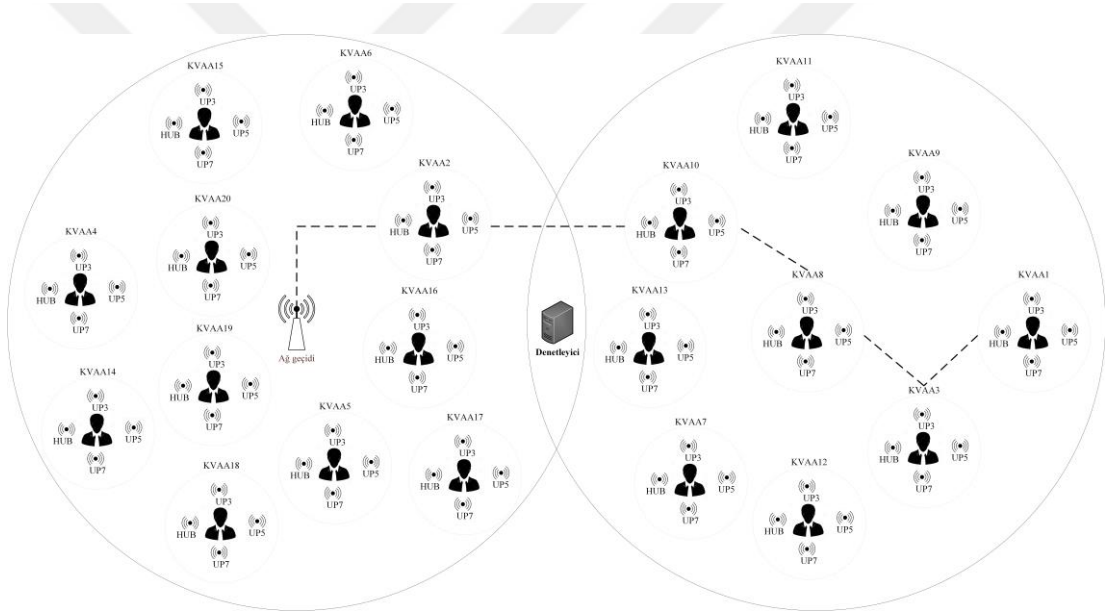
Şekil 5-15. Farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları.

Denetleyici, yönlendirme rotalarını belirlerken, HUB düğümleri sadece veri iletimi gerçekleştirmektedir. Karar algoritmalarının HUB düğümlerinde çalışmaması ve bu düğümlerin sadece veri iletimi gerçekleştirmesi, onları karmaşık yönlendiricilerden ziyade daha basit birer ağ düğümlerine dönüşmektedir. Ayrıca, geleneksel yönlendirme algoritmalarında, her bir HUB düğümü kendi yönlendirme tablosuna sahiptir. Bu tablolardan herhangi biri güncellendiğinde, ilgili tüm HUB düğümlerinin yönlendirme tablolarını dinamik olarak güncellemeleri gerekmektedir. Bu işlemler ağ trafiğini artmasına, ağ trafiğinde tıkanıklıkların yaşanmasına ve dolayısıyla başarılı iletim oranını da olumsuz etkileyebilmektedir.

5.3.1.2. Senaryo 2

Şekil 5-16'da çoklu atlamalı yönlendirme senaryosu verilmiştir. Bu senaryoda da yine ağ geçidi kapsama alanı dışında olan KVAA1 kullanıcısı, denetleyiciden rota talep

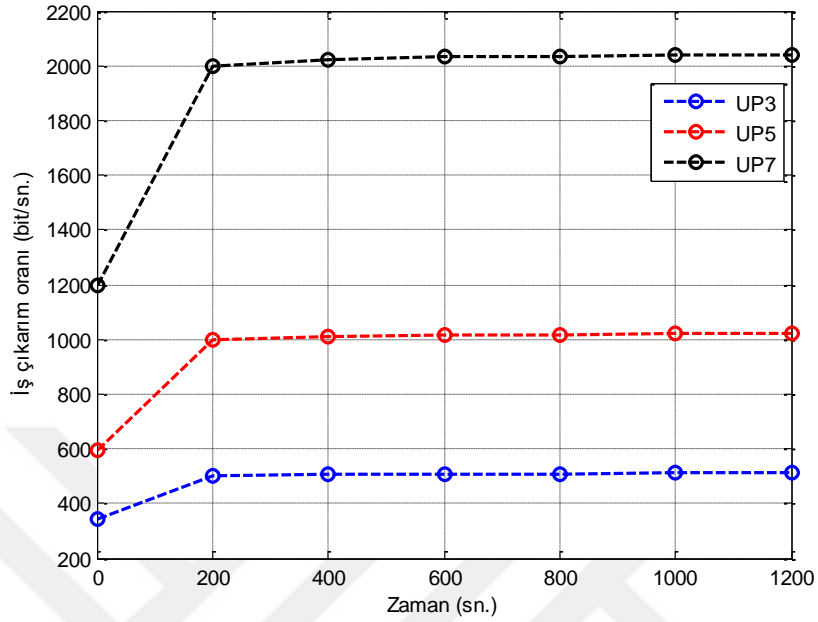
etmektedir. Denetleyici tüm HUB düğümlerinden elde ettiği SNR verilerini ve pil seviyelerini ilgili tablolarda depolayarak, Dijkstra algoritması yardımıyla en uygun rotayı bulup, talep eden KVAA1 kullanıcılarına ve o rota üzerinde bulunan tüm kullanıcılara yeni rota bilgilerini akış kuralı olarak iletmektedir. Bu sayede KVAA1 kullanıcıları kuyruğundaki paketleri kendisine atanan bir sonraki ara kullanıcıya göndererek ağ geçidine ulaşmasını sağlamaktadır. Rota üzerindeki diğer kullanıcılar kendilerine gelen paketleri denetleyici tarafından oluşturulan akış tablolarına göre (ilet, bırak) işlemektedir. Bu senaryo, 20 adet HUB düğümü, her bir HUB düğümüne bağlı 8 adet algılayıcı düğüm ile toplamda 160 adet algılayıcı düğüm, birer adet denetleyici ve ağ geçidinden oluşmaktadır. Yine KVAA1 kullanıcıları, benzetim süresinin 5. saniyesinde denetleyiciden rota talep etmektedir. Denetleyici sahip olduğu veriler ışığında yönlendirme algoritmasını kullanarak en uygun rotayı belirlemektedir.



Şekil 5-16. Çoklu atlamalı yönlendirme senaryosu.

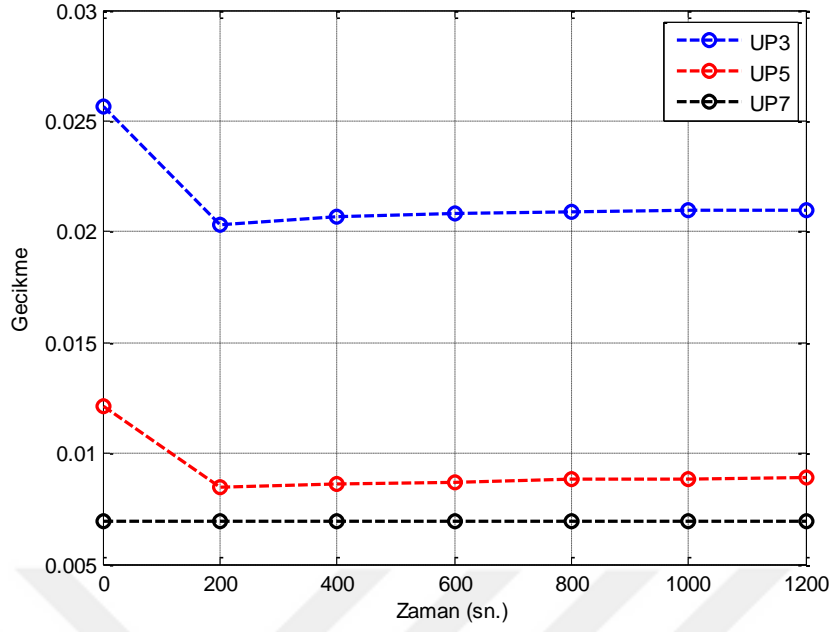
Şekil 5-17’de KVAA1 kullanıcılarının farklı öncelikli paketlerine ait iş çıkarım oranları görülmektedir. İlk senaryoda, sadece KVAA1 kullanıcıları ağ geçidi kapsama alanı dışındaydı. Bu senaryoda ise 9 adet KVAA kullanıcıları kapsama alanı dışında bırakılmış ve yine 5. saniyede KVAA1 kullanıcıları denetleyiciden uygun rota talep etmiştir. Çoklu atlamalı yönlendirme gerçekleştirilmiş ve en uygun rota denetleyici tarafından belirlenerek KVAA1 kullanıcıları ve rota üzerinde bulunan ilgili ara kullanıcılarına atanmıştır. Şekil 5-17’de görüldüğü gibi KVAA1 kullanıcılarının farklı öncelikli paketleri ağ geçidine KVAA3, KVAA8, KVAA10 ve KVAA2 kullanıcıları üzerinden başarılı bir

biçimde iletmiştir. Elde edilen sonuçların ISO/IEEE 11073 servis kalite gereksinimlerini karşıladığı [31], [55] ve literatürdeki çalışmalarla tutarlı olduğu görülmektedir [38], [94].



Şekil 5-17. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için iş çıkarım oranları.

Şekil 5-18'de KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketlerine ait uçtan uca gecikme sonuçları görülmektedir. En az gecikme öncelik seviyesi en yüksek olan UP7 düğüm paketlerinde görülürken, en yüksek gecikme ise düşük önceliğe sahip olan UP3 düğüm paketlerinde görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilk senaryoya göre gecikmenin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. SDNRouting algoritması, en az atlama sayısını baz alan geleneksel yönlendirme algoritmalarının aksine rota üzerindeki koordinatör düğümlerin pil seviyesi ve SNR değerlerini dikkate aldığından gecikme bir miktar artmıştır. Ancak bu gecikmelerin ISO/IEEE 11073 standardında belirtilen servis kalite gereksinimlerini karşıladığı da görülmektedir [37], [55].

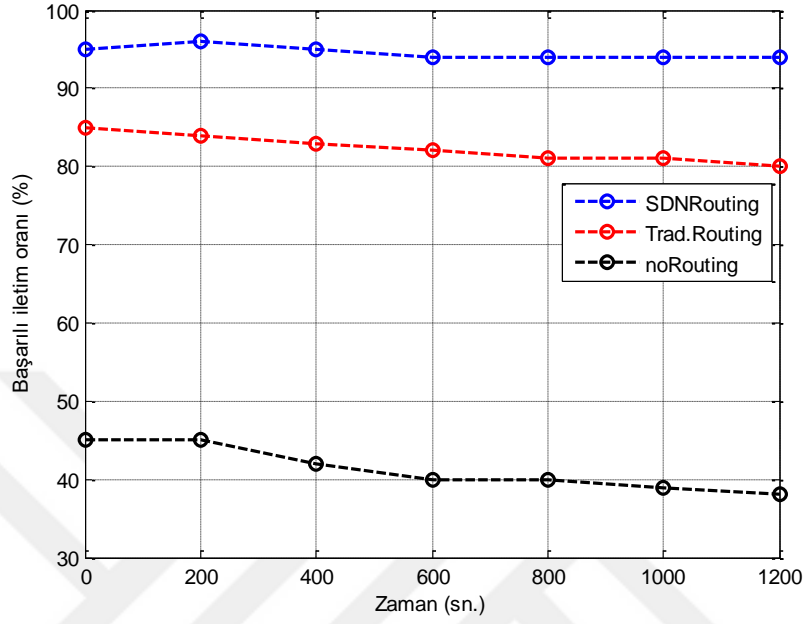


Şekil 5-18. KVAA1 kullanıcısının farklı öncelikli paketleri için uçtan uca gecikme sonuçları.

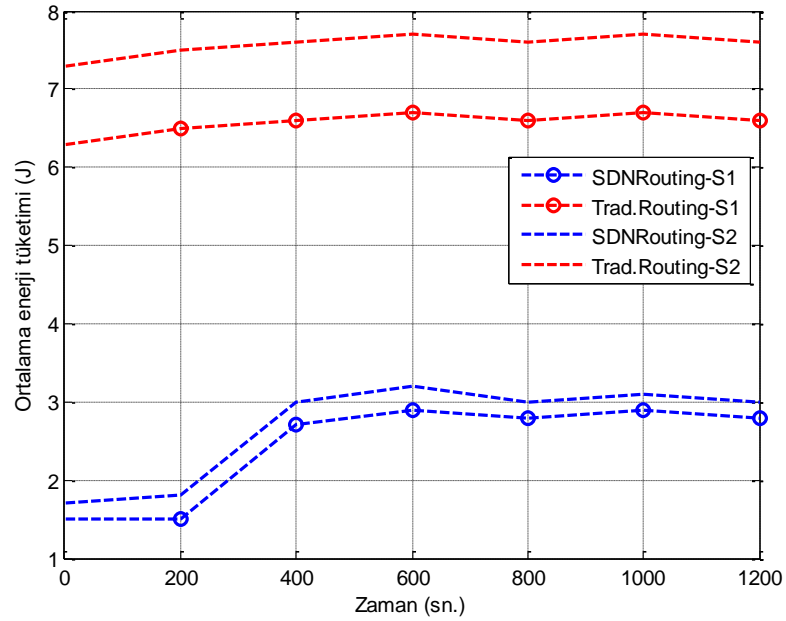
Şekil 5-19’da farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları verilmiştir. Denetleyici, KVAA1 kullanıcısı için hem uygun kanal tahsis etmiş hem de yönlendirme algoritması sonucu en uygun rotayı bularak ilgili tüm HUB düğümlerine atamıştır. Böylece KVAA1 kullanıcısı ağ geçidine KVAA3, KVAA8, KVAA10 ve KVAA2 kullanıcıları üzerinden ulaşmıştır. Bu senaryoda, ortamda daha fazla kullanıcı olmasına rağmen SDNRouting algoritmasının başarılı iletim oranının da çok düşmediği görülmektedir. Ancak geleneksel yönlendirme ve yönlendirmesiz yaklaşımlarda bu oranın SDNRouting algoritmasına göre daha çok düştüğü görülmüştür. Başarılı iletim oranları karşılaştırıldığında SDNRouting yaklaşık %95, geleneksel yönlendirme %84 ve noRouting %41 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, hem tek atlamalı hem de çok atlamalı yönlendirme senaryoları için SDNRouting, diğer iki yaklaşımdan daha iyi performans göstermiştir. Bunun en önemli nedeni tüm ağın topolojisi bilgisine sahip denetleyicinin yönlendirme işleminde aktif rol almasıdır.

Şekil 5-20’de farklı zaman aralıklarındaki SDNRouting ile geleneksel yönlendirme algoritmalarının her iki senaryodaki enerji tüketim oranları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Denetleyici üzerinde çalışan enerji duyarlı yönlendirme algoritması SDNRouting, geleneksel yönlendirme algoritmasına göre her iki senaryoda da daha az enerji harcadığı görülmektedir. Pil seviyesi ve SNR metriklerinin göz önünde

bulundurulması, denetleyici üzerinde çalışan yönlendirme karar mekanizması, HUB düğümlerinin basit birer iletim cihazlarına dönüştürülmesi enerji tüketimi açısından olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5-19. Farklı zaman aralıklarındaki başarılı iletim oranları.



Şekil 5-20. Farklı zaman aralıklarındaki karşılaştırmalı ortalama enerji tüketim oranları.

5.3.2. ESR-W Yönlendirme Algoritmasının Performans Değerlendirmesi

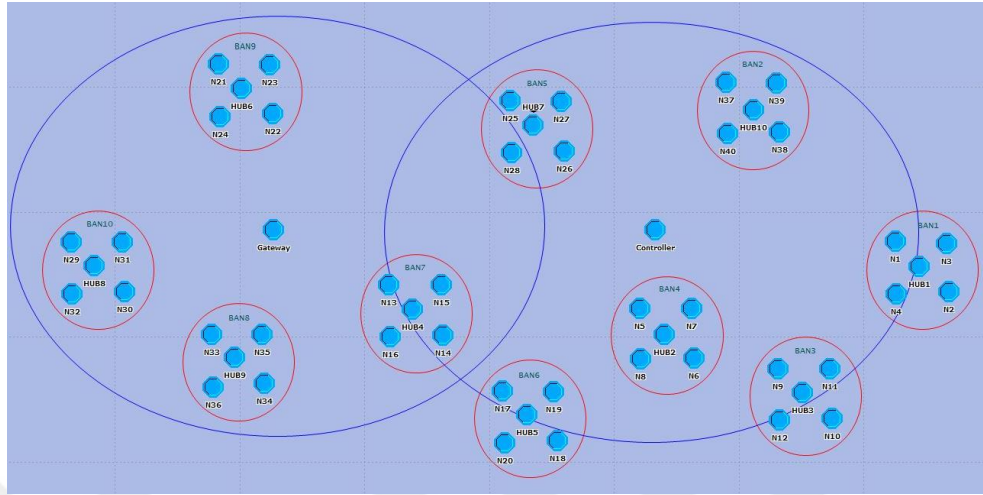
ESR-W algoritmasının performansını değerlendirmek için gerçekleştirilen benzetim senaryolarının detayları ve sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Geliştirilen senaryolar, kablolu/kablosuz cihazlar için hiyerarşik modelleme katmanları ve protokollerine sahip bir benzetim ortamı sağlayan Riverbed Modeler benzetim yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, AODV [96] ve YT-KVAA için önerilen SDNRouting [90] algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. ESR-W ve diğer tüm algoritmalar C-Proto programlama dili ile Riverbed Modeler benzetim yazılımı üzerinde tasarlanmıştır.

ESR-W algoritması, üç farklı senaryo ile analiz edilmiştir. İlk senaryoda, ağ geçidinin kapsama alanı dışındaki HUB1 isimli koordinatör düğümün farklı öncelikleri (UP7, UP4, UP2 ve UP0) olan paketleri ağ geçidine göndermesi beklenmektedir. Ağ geçidine erişmek için gerekli en uygun rota ise denetleyici tarafından belirlenmektedir. Önerilen senaryonun iş çıkarım oranı ve gecikme değerleri incelenmiştir. İkinci senaryoda, yalnızca en yüksek öncelikli düğümün (UP7), ağ geçidi kapsama alanı dışında olan HUB düğümüne (HUB1) paket göndermesi beklenmektedir. HUB1 düğümü, en yüksek öncelikli paketleri ağ geçidine gönderebilmek için denetleyiciden yardım almaktadır. Bu senaryoda, ESR-W, AODV ve SDNRouting yönlendirme algoritmaları gecikme, başarılı iletim oranı ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Son senaryoda ise, koordinatör düğümüne bağlı olan algılayıcı düğümlerinin aynı gelişler-arası süreler sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu senaryoda, ESR-W, AODV ve SDNRouting yönlendirme algoritmaları için farklı yük değerlerinin enerji tüketim değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tüm senaryolarda, ID merkezli veri iletme yöntemi tercih edilmiş ve her HUB düğümü akış tablolarındaki ID bilgilerine göre paketleri işlemektedir. 10 adet HUB düğümü, her bir HUB düğümüne bağlı dörder adet algılayıcı düğüm, birer adet denetleyici ve ağ geçidinin ağdaki örnek düğüm yerleşimi Şekil 5-21'de gösterilmektedir.

YT-KVAA mimarisi heterojen bir ağ yapısına sahip olduğu için, her düğüm IEEE 802.15.6 standardında tanımlanmış farklı veri hızları ve görevleri bulunmaktadır. Bu bağlamda, tüm senaryoların daha gerçekçi olması için farklı gelişler-arası süreler kullanılmıştır. Bu değerler; UP7, 4 paket/sn., UP4 2 paket/sn., UP2 1 paket/sn.ve UP0 0,5 paket/sn.veri hızları olacak şekilde tanımlanmıştır. Literatürde KVAA mimarisinde genellikle MicaZ enerji tüketim değerlerinin kullanılması nedeniyle bu çalışmada da bu

değerler referans alınmıştır [93]. Tüm benzetim parametreleri Çizelge 5.4'te detaylı olarak verilmiştir.

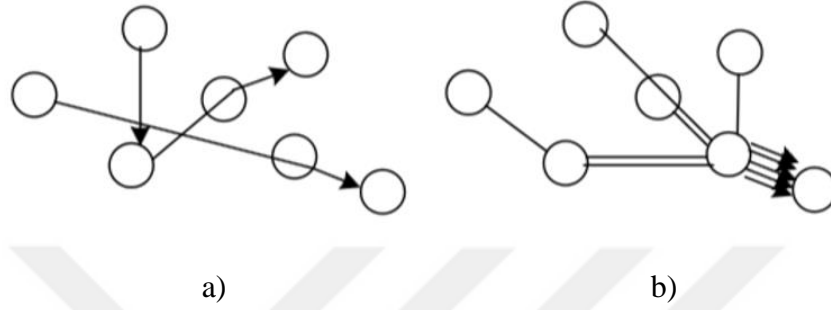


Şekil 5-21. Ağdaki düğüm yerleşimi (52 düğüm).

Çizelge 5.4. Benzetim parametreleri.

Parametre	Değer	
Benzetim süresi	600 saniye	
Çalışma alanı	300m x 300m	
Frekans	2400 - 2483.5 GHz	
Algılayıcı düğüm sayısı	40 algılayıcı ve 10 HUB düğümü	
MAC protokolü	IEEE 802.15.6 KVAA-ıçı HUBsFlow KVAA-arası	
Bant genişliği	1 MHz	
Veri hızı	971.4 kbps	
Paket boyutu	100 Byte	
Paket gelişler-arası süre (Üstel dağılım fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir.)	UP7 = 0.25 sn UP4 = 0.5 sn	UP2 = 1 sn UP0 = 2 sn
Başlangıç enerji miktarı	10 J	
MicaZ parametreleri	Çizelge 5.2'deki parametre değerleri kullanılmıştır.	

Şekil 5-22 a) ve b)'de ESR-W için kullanılan ağ trafik düzenleri verilmiştir. Yakınsaklık trafik deseni, KVAA-içi haberleşmede tüm düğümlerin paketi bağlandıkları HUB düğüme iletmelerini sağlamaktadır. Noktadan noktaya trafik deseni ise KVAA-arası haberleşmede denetleyici tarafından belirlenen rotaya göre paket iletimi olarak tanımlanmıştır.



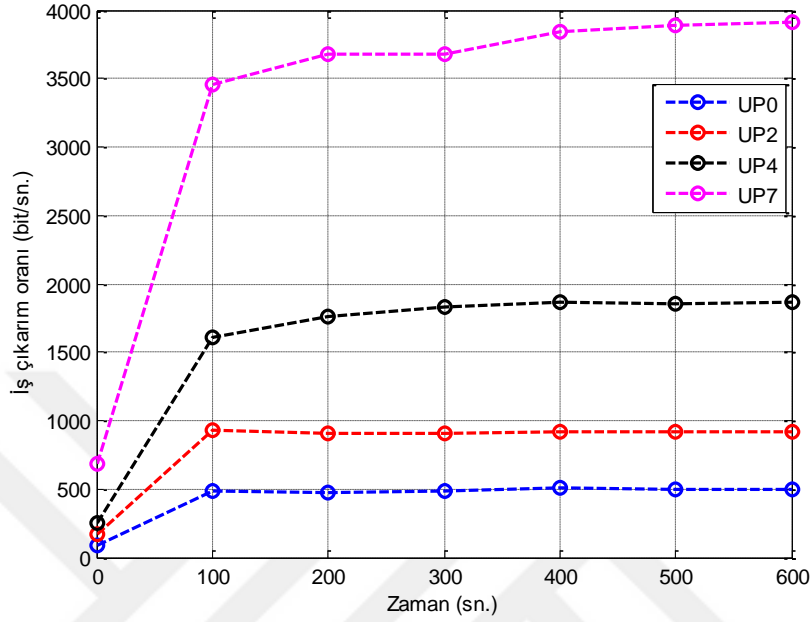
Şekil 5-22. ESR-W için kullanılan ağ trafik düzenleri a) Noktadan Noktaya b) Yakınsama.

5.3.2.1. Veri Aktarımında İş Çıkarım Oranı ve Uçtan Uca Gecikme

ESR-W algoritmasının tasarımındaki en önemli amaçlardan biri, farklı öncelik seviyelerine sahip paketleri bulunan HUB düğümlerinin SNR, pil seviyesi ve atlama sayısı metriklerine göre en uygun rotaları seçerek paketlerin ağ geçidine servis kalite gereksinimlerini karşılayacak düzeyde ulaşmasını sağlamaktır. Ayrıca ağın dinamik koşulları dikkate alınarak gerçek zamanlı rota değişimi ESR-W algoritmasının en önemli yenilikleri arasındadır. Denetleyici rota talebini aldıktan sonra, en uygun yeni rotayı hesaplamaktadır. Bu reaktif (isteğe bağlı) yaklaşım, yönlendirme algoritmaları için enerji verimliliği sağlaması amacıyla kullanılmaktadır. HUB düğümlerinin durumu önemli ölçüde değişmediğinde, en uygun rota AODV ve SDNRouting algoritmaları ile de seçilebilmektedir. Ancak ESR-W, HUB düğümlerinin durumundaki (bağlantı kalitesi, pil seviyesi ve atlama sayısı gibi) herhangi bir değişiklikte yeni rotaların bulunabilmesine imkan sunmaktadır. ESR-W algoritması SNR, pil seviyesi ve atlama sayısı metriklerini ve bunlara karşılık gelen maliyetleri dikkate alarak en uygun rotayı seçmektedir. Sonuç olarak, ESR-W algoritması ağdaki dinamik koşulları dikkate alan ve hizmet kalite gereksinimlerini karşılayabilen enerjiye duyarlı yeni bir yaklaşıma sahiptir.

Şekil 5-23'te farklı öncelikli paketlerin iş çıkarım oranları verilmektedir. Kapsama alanı dışındaki HUB düğümünün tüm farklı öncelikli paketlerini ağ geçidine başarıyla ilettiği

görülmektedir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre, farklı öncelikli düğümler olan UP0 için 460.0459 bit/sn, UP2 için 861.0483 bit/sn, UP4 için 1698.955 bit/sn ve UP7 için 3565.702 bit/sn sonuçları elde edilmiştir.

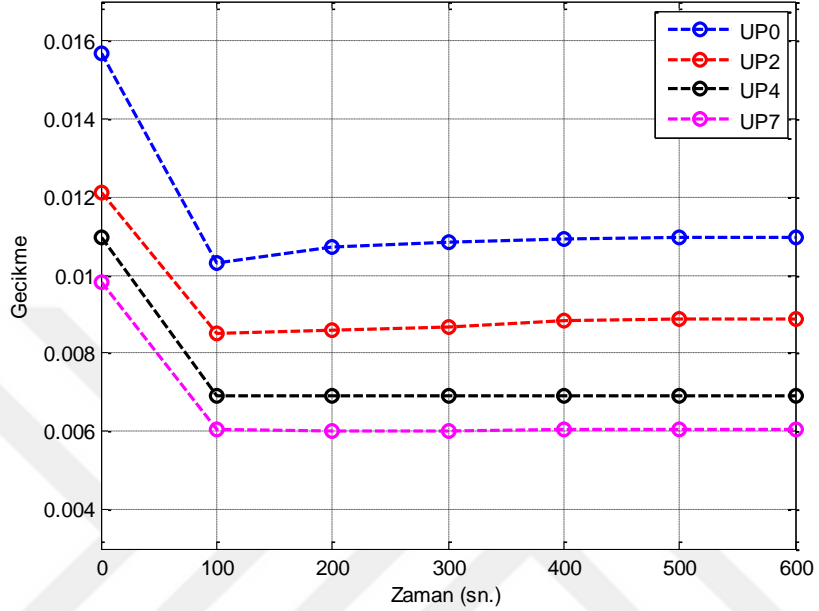


Şekil 5-23. Farklı öncelikli paketlerin iş çıkarm oranları.

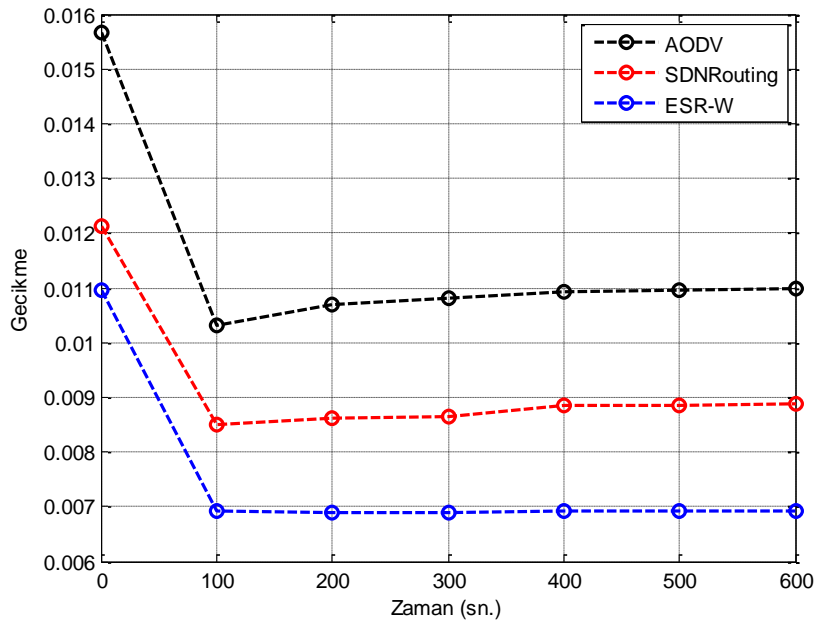
Şekil 5-24'te, farklı öncelikli paketlerin uçtan uca gecikme değerleri verilmiştir. Bu farklı öncelikli paketlerin farklı gecikme değerlerinde hedefe ulaştığı görülmektedir. YT-KVAA mimarisi için bu beklenen ve istenen bir durumdur. Çünkü yüksek öncelikli veriler (kalp atış hızı gibi hayati veriler) minimum gecikmeyle hedefe ulaşmalıdır. Bu farkın temel nedeni, farklı öncelikler için tanımlanan farklı ÇP değerlerinden kaynaklanmaktadır. Ağ geçidinin kapsama alanı dışında kalan HUB düğümü, farklı öncelik değerlerine sahip tüm paketleri yaklaşık 0.01 saniyeden daha az bir gecikmeyle hedefe ilettiği görülmektedir.

Şekil 5-25'te her üç yaklaşımda UP7 düğümü için elde edilen uçtan uca gecikme sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. UP7 düğümünün paketleri acil ve önemli tıbbi veri sınıfında olduğu varsayıldığında, YT-KVAA mimarisi için bu paketlerin minimum gecikme ve paket kaybı ile hedefe ulaşması önemli bir beklentidir. Ayrıca herhangi bir HUB düğümünün enerjisi tükenirse, belirli bir eşiğe ulaşırsa ya da altına düşerse, ağın başarısız olmasını önlemek için bu düğümün bir ara düğüm olarak seçilmemesi gerekmektedir. ESR-W algoritması kullanıldığında UP7 düğümünün paketleri yaklaşık

0.007 saniye gecikmeyle hedefe ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan SDNRouting 0.0089 saniye, AODV 0.011 saniye gecikmeye sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında, en düşük gecikme ESR-W algoritmasında, en yüksek gecikme ise AODV algoritmasında gözlemlenmiştir.



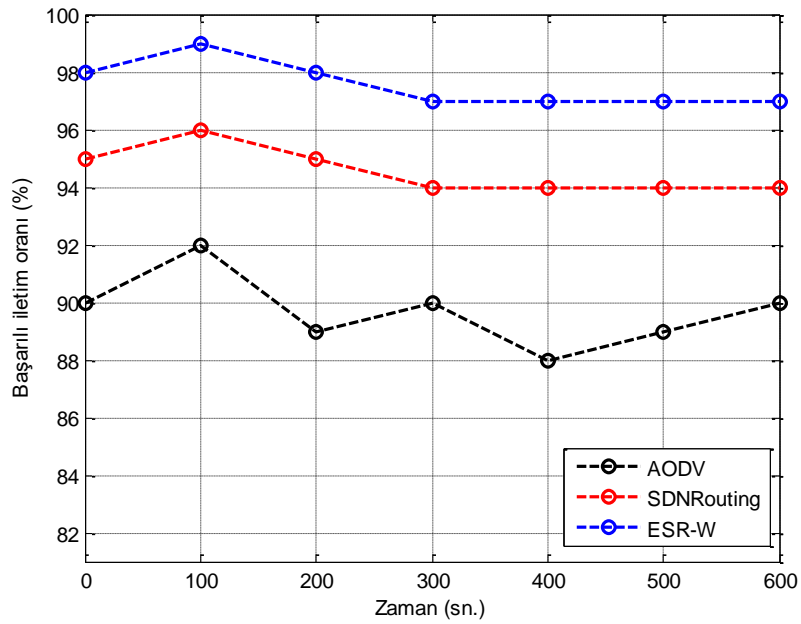
Şekil 5-24. Farklı öncelikli paketlerin gecikme sonuçları.



Şekil 5-25. ESR-W, AODV ve SDNRouting algoritmalarının gecikme sonuçları.

Şekil 5-26’da verilen başarılı iletim oranlarına göre ise ESR-W, SDNRouting ve AODV sırasıyla yaklaşık %97, %94 ve %90 başarılı iletim oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, ESR-W, diğer iki algoritmaya kıyasla hem gecikme hem de başarılı iletim oranları açısından oldukça iyi sonuçlar göstermiştir.

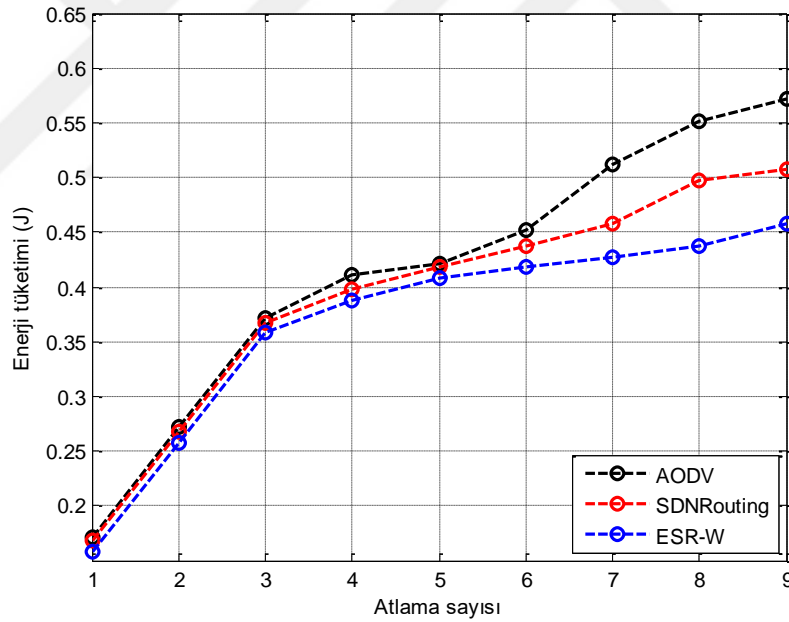
AODV, düğümler arasındaki mesafeyi dikkate alan bir yönlendirme algoritmasıdır. Bağlantı koşullarına hızlı adaptasyonu, düşük bellek kullanımı ve düşük ağ kullanımı bu algoritmayı popüler kılmaktadır. Bununla birlikte, artan yönlendirme isteği mesajları sayesinde ortamdaki mesajlaşma sayısı da önemli düzeyde artmaktadır. Dağıtık yönlendirme yaklaşımına sahip AODV, her bir HUB düğümünün en uygun rota karar aşamasında aktif rol alması, gecikme ve başarılı iletim oranı açısından negatif bir etki göstermiştir. Bu bağlamda, ESR-W algoritması için en uygun rota belirleme sürecinde merkezi bir yönlendirme yaklaşımıyla daha çok denetleyici aktif rol almıştır. SDNRouting algoritmasında Bulanık Mantık tabanlı Dijkstra tekniğinin olmaması ve pil seviyesi metriğinin sadece önceden belirlenmiş bir eşik değer olarak tanımlanması, daha düşük performans göstermesine sebep olmuştur. Ayrıca ESR-W algoritmasında aşırı trafik yükünden kaynaklanan gecikmelerin de önüne geçilmiştir. Merkezi yönlendirme yaklaşımının bir başka avantajı da ağıın genel görünümüne ya da tüm bilgilerine sahip olunması nedeniyle dinamik durumlar için daha doğru kararlar alınabilmesidir.



Şekil 5-26. UP7 öncelikli paketlerin üç farklı yaklaşımdaki başarılı iletim oranları.

5.3.2.2. Veri Aktarımında Tüketilen Enerji

ESR-W algoritmasında, en uygun rota kararları için daha yüksek enerji seviyesine sahip rotalar belirlenmektedir. Şekil 5-27’de farklı atlama sayıları için elde edilen enerji tüketim sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Şekilde de görülebileceği gibi, atlama sayısı arttıkça tüm algoritmalarda enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın nedeni, her defasında daha fazla HUB düğümünün ara düğüm olması ve dolayısıyla daha çok enerji tüketimi gerçekleşmesidir. Literatürdeki bazı çalışmalarda da atlama sayısındaki artışın enerji tüketimi üzerinde olumsuz etkisi olduğu ifade edilmiştir [97], [98]. Ancak benzetim ortamı dikkate alındığında bu çalışma açısından böyle bir genelleme yapılabilmesi mümkün görünmemektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise ESR-W algoritmasının diğer iki algoritmaya göre daha az enerji harcadığı da görülmektedir. Bu bağlamda, benzetim sonuçlarının literatür [69] ile uyumlu olduğu ve geliştirilen algoritmanın enerji verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiştir.

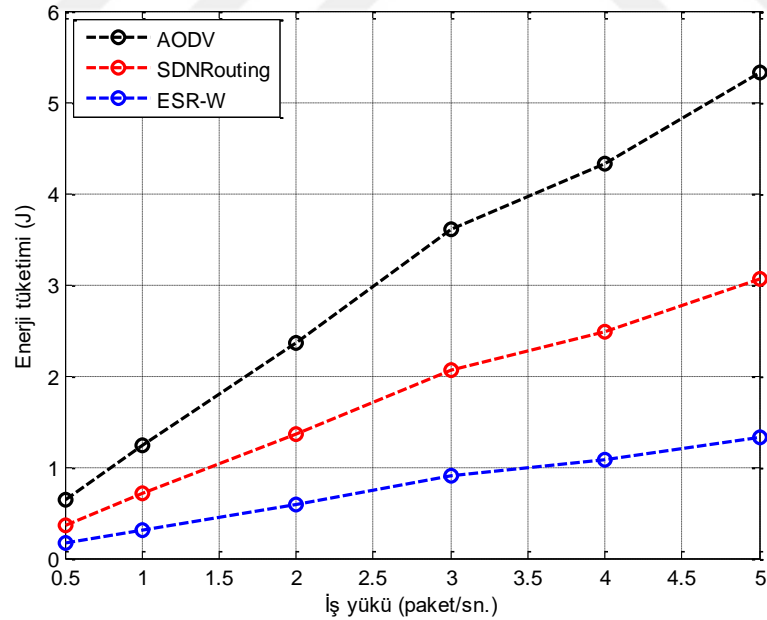


Şekil 5-27. Farklı atlama sayılarındaki enerji tüketim değerleri.

SNR, atlama sayısı ve pil seviyesi yönlendirme metriklerinin AODV algoritmasında dikkate alınmaması, dinamik ağ koşulları altında kaynak ve hedef arasındaki en uygun rotanın değişmemesine sebep olmaktadır. SDNRouting algoritmasında ise pil seviyesi sadece bir eşik değer olarak ele alınmış ve kaynak ile hedef arasındaki atlama sayısı göz ardı edilmiştir. Bu nedenle, bu iki yaklaşımın da daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu

gözlemlenmiştir. Ayrıca ESR-W algoritmasında, kaynak ve hedef arasında bulanık tabanlı Dijkstra tekniği yardımıyla elde edilen en uygun rota gerçek zamanlı olarak denetleyici tarafından değiştirilebilmektedir.

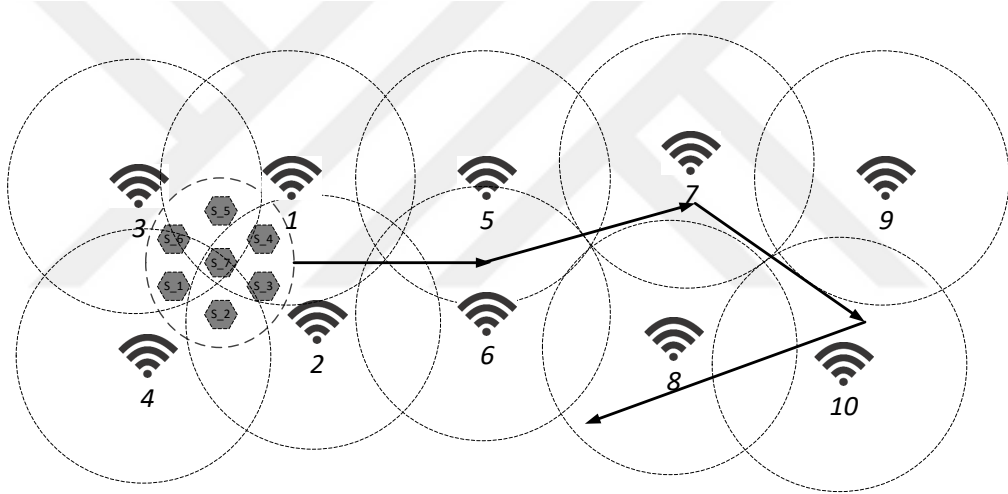
Şekil 5-28’de farklı iş yükü değerlerinde elde edilen enerji tüketim sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu senaryoda, ağ yükü arttıkça önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek amacıyla UP7, UP4, UP2 ve UP0 öncelik düğümleri için aynı paket gelişler-arası süreler tanımlanmıştır. Düğümlerin paket gelişler-arası süreleri sırasıyla 0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 saniye olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki bazı çalışmalarda [4], [23] olduğu gibi ağıdaki iş yükü arttıkça enerji tüketim değerlerinin de arttığını göstermektedir. Doygun bir YT-KVAA ağ ortamında, paketlerdeki artışın enerji tüketimi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ESR-W algoritmasının AODV ve SDNRouting algoritmalarına nazaran daha başarılı olduğu da görülmüştür. Denetleyici, HUB düğümlerinin mevcut durumlarını göz önünde bulundurarak en uygun rota bulma işlemini gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu bağlamda, önerilen ESR-W algoritmasının, YT-KVAA mimarisi için diğer iki yaklaşıma göre daha uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5-28. Farklı iş yüklerine ait enerji tüketim değerleri.

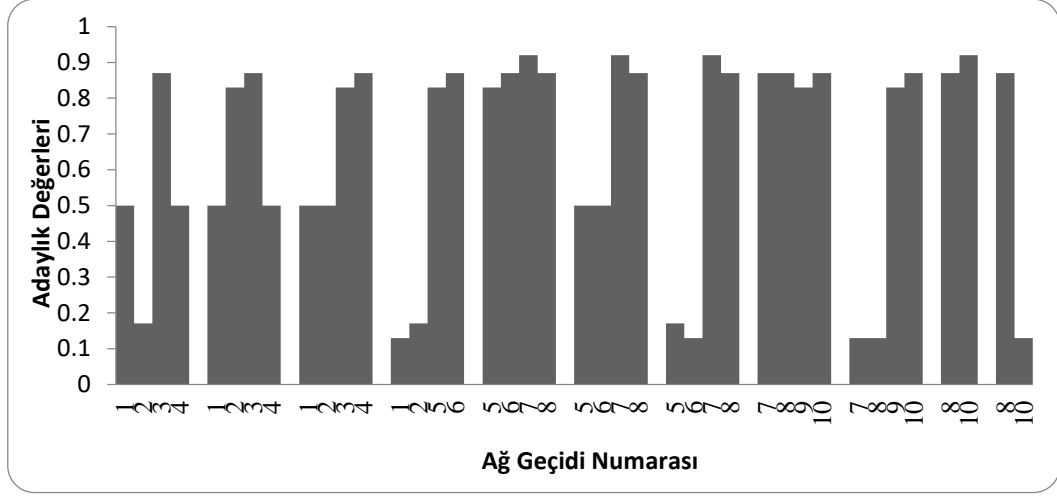
5.4. BULANIK MANTIK TABANLI AĞ GEÇİDİ SEÇİM ALGORİTMASININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritmasının (BAS) performansını değerlendirmek için gerçekleştirilen benzetim senaryolarının detayları ve sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. BAS algoritması, HUB düğümleri üzerinde tanımlı bir seçim mekanizmasıdır. Bu algoritma bir HUB düğümünün, denetleyici kapsamı dışında ve afet durumlarında en uygun ağ geçidini seçmesi amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 5-29'da KVAA mimarisi üzerinde BAS algoritmasının değerlendirilmesi için örnek bir senaryo gösterilmektedir. Bir KVAA kullanıcısı şekilde gösterilen yörüngeyi takip etmektedir. Bölgede olası bazı ağ geçitleri bulunduğu varsayılmaktadır. Önerilen bulanık sistem, ilgili parametreleri alarak hangi erişim noktasına (AP) ağ geçidi olarak bağlanacağına karar vermektedir.



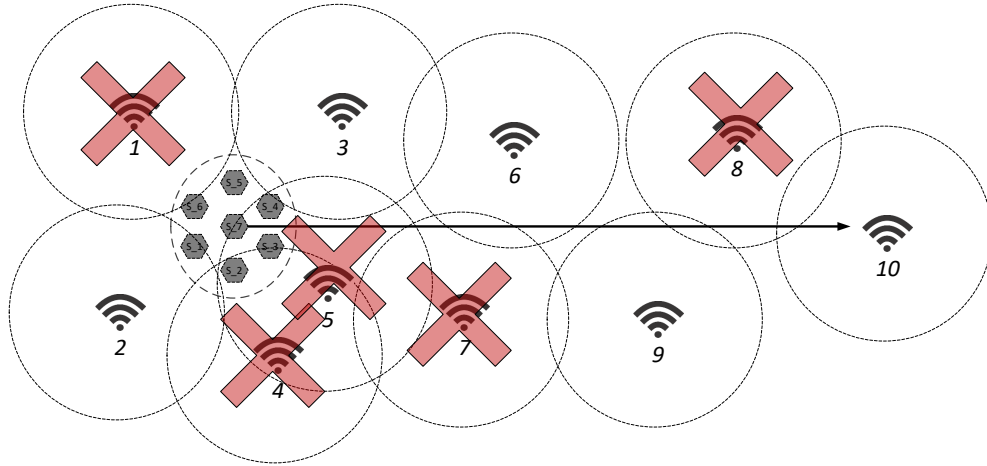
Şekil 5-29. Önerilen sistemin değerlendirilmesi için örnek bir senaryo.

Afet durumlarında, kablosuz ortamın kararsız olmasından dolayı RSSI ve SNR değerleri çok değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca insanlara hizmet etmek için yeterli AP olmama durumu da söz konusudur. Böyle bir durumda, afet durumunu analiz etmek için bir senaryo gerçekleştirilmiştir. Önerilen BAS algoritması çalışarak ağ geçitlerinin adaylık değerleri Şekil 5-30'da gösterildiği gibi elde edilmektedir. İlk olarak, maksimum adaylık değerine sahip AP3 ağ geçidi olarak seçilmekte ve daha sonra maksimum adaylık değerine sahip olan diğer AP'ler seçilebilmektedir. Sonuçlar, önerilen bulanık temelli seçim işleminin ağ geçidi olarak en uygun AP'yi seçme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 5-30. Ağ geçitlerinin adaylık değerleri.

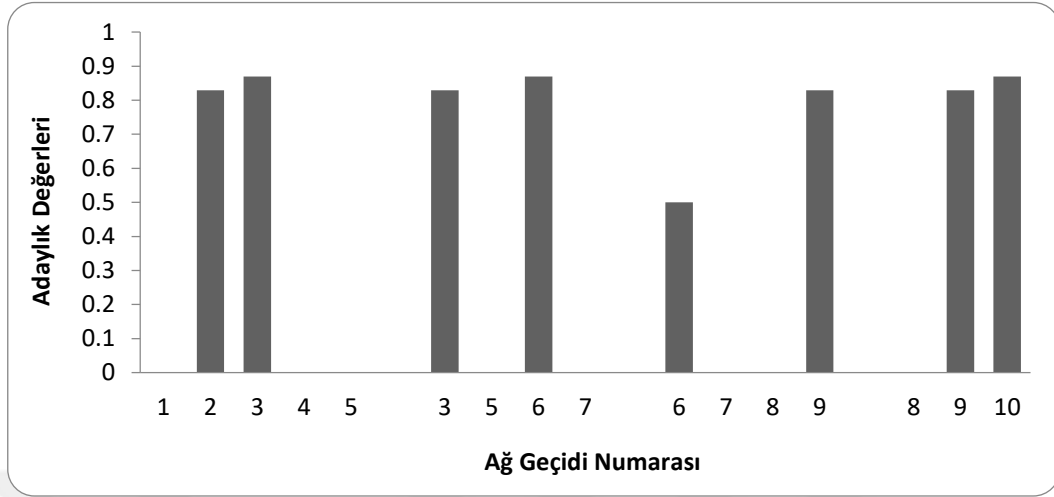
Ayrıca, önerilen sistemin performans analizi için bir durum çalışması sunulmaktadır. Şekil 5-31'de görülebileceği gibi, bir afet durumu olmuş ve çevrede çeşitli AP'ler ve bir KVAA bulunmaktadır. Bu AP'lerin bazıları etkin, bazıları afet nedeniyle pasif olmuştur. KVAA donanımlı kişi yörüngede hareketini gerçekleştirir, diğer aktif ve pasif AP'lerle karşılaşmaktadır. Böylece, HUB düğümü çevreyi olası AP'ler için tarama ve bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritması yardımıyla en uygun AP'ye bağlanmaya karar vermektedir. Bu durum çalışmasının sonuçları Şekil 5-32'de gösterilmektedir.



Şekil 5-31. Örnek durum çalışması: Bir afet vakası için ağ geçidi seçimi.

Öncelikle hem AP1, AP4, AP5 erişim noktalarının pasif olması, hem de AP2 ve AP3 erişim noktaları arasında AP3 erişim noktasının adaylık değerinin yüksek olması nedeniyle ağ geçidi olarak AP3 erişim noktası seçilmektedir. Sonra AP5 ile AP7 pasif olduğu için AP6 ile AP3 arasından AP6 seçilmiştir. Akabinde AP9 ile AP6 arasından da

AP9 seçilmektedir, çünkü AP7 ile AP8 pasiftir. Son olarak, AP8 pasif olduğundan AP10 ve AP9 arasından AP10 seçilmiştir.



Şekil 5-32. Örnek durum incelemesi için erişim noktalarının adaylık değerleri.

5.5. ÖZGÜL EMİLİM ORANINA DAYALI DİNAMİK HUB SEÇİM ALGORİTMASININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

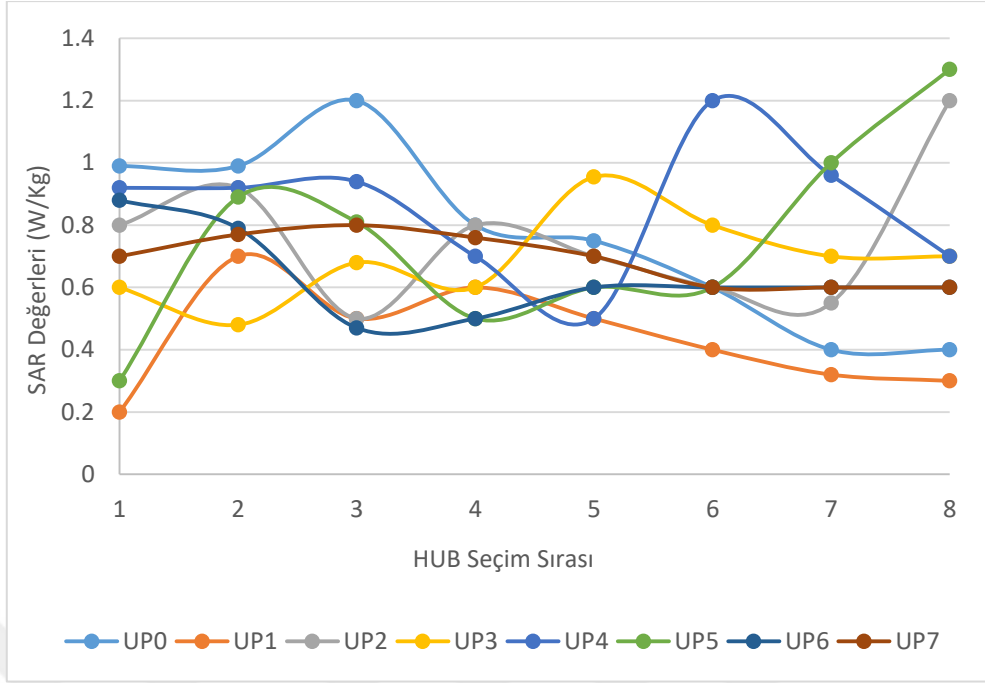
Özgül emilim oranına (SAR) dayalı dinamik HUB seçim (DHS) algoritmasının performansını değerlendirmek için gerçekleştirilen benzetim senaryolarının detayları ve sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu benzetim senaryosunda, IEEE 802.15.6 uyumlu bir KVAA mimarisi tasarlanmıştır. Sekiz farklı öncelikli algılayıcı düğüm ile yıldız topolojisine sahip KVAA yapılandırılmıştır. Benzetim parametreleri Çizelge 5.5'da verilmiştir. Benzetimin başında HUB adaylık değerleri ile değerlendirme parametreleri Çizelge 5.6'de gösterilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi, benzetimin başlangıcında UP1 maksimum adaylık değerine sahip bir HUB olarak seçilmektedir. Şekil 5-33'te, değişken SAR değerleri benzetimin başından sonuna kadar gösterilmiştir. UP1 bir HUB olarak seçildikten sonra, tüm algılayıcı düğümler UP1 düğümüne veri göndermektedir. UP1 düğümünün pil seviyesi 2J seviyesine düştüğünde, bulanık tabanlı karar sistemi çalışarak yeni HUB düğümü aranmaktadır. Bu yeni arama işleminde UP0 en yüksek adaylık değerine sahip yeni HUB düğümü olarak seçilmektedir. Daha sonra benzetimin her bir adımında sırasıyla UP1, UP0, UP2, UP3, UP4, UP5, UP2, UP2, UP7 ve UP6 düğümleri HUB olarak seçilmektedir. Algılayıcı düğümlerinin HUB adaylık değerleri Şekil 5-34'te verilmiştir. İlk üç düğümün yerleri ise Şekil 5-35'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Benzetim parametreleri.

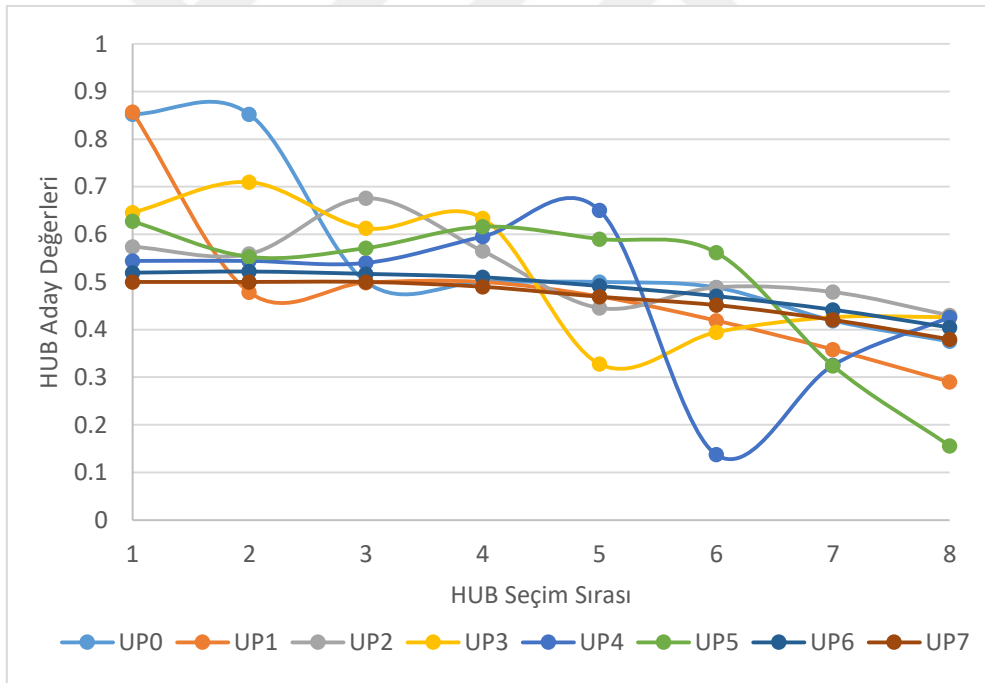
Parametre	Değer
Benzetim süresi	6000 s
Zaman dilimi uzunluğu	100 ms
Frekans	2400 - 2483.5 GHz
Algılayıcı düğüm sayısı	8
HUB sayısı	8 aday düğüm
Bant genişliği	1 MHz
Veri hızı	971.4 kbps
Paket boyutu	100 Byte
Başlangıç enerjisi	5 Joule
MicaZ parametreleri	Çizelge 5.2'deki parametre değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.6. Aday değerleriyle tüm algılayıcı düğümlerinin değerlendirme parametreleri

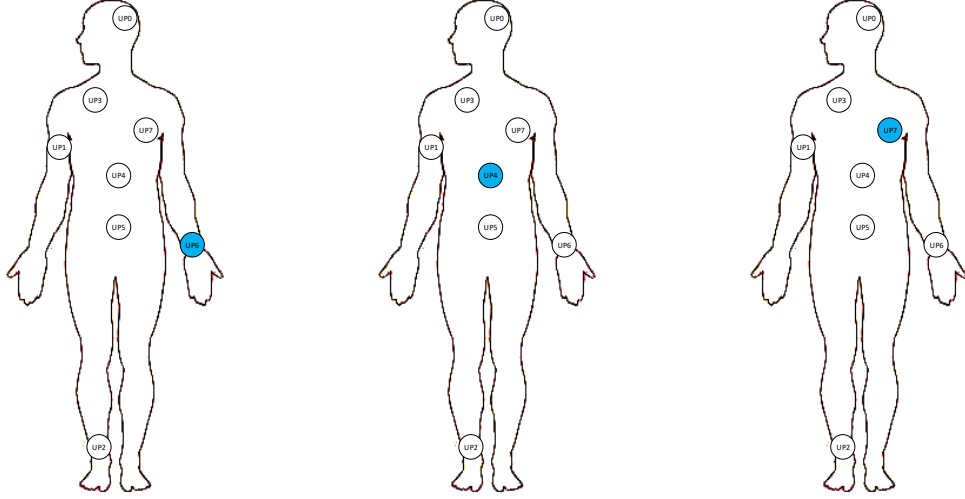
Algılayıcı Düğümler	SAR	Öncelik	Pil Seviyesi	Adaylık Değerleri
UP0	0.99 (W/Kg)	0	5J	0.8524
UP1	0.2 (W/Kg)	1	5J	0.8568
UP2	0.8 (W/Kg)	2	5J	0.574
UP3	0.6 (W/Kg)	3	5J	0.6457
UP4	0.92 (W/Kg)	4	5J	0.5442
UP5	0.3 (W/Kg)	5	5J	0.6273
UP6	0.88 (W/Kg)	6	5J	0.5195
UP7	0.7 (W/Kg)	7	5J	0.5



Şekil 5-33. Benzetimdeki algılayıcı düğümlerinin SAR değerleri.



Şekil 5-34. Benzetimde HUB olarak seçilin algılayıcı düğümler.

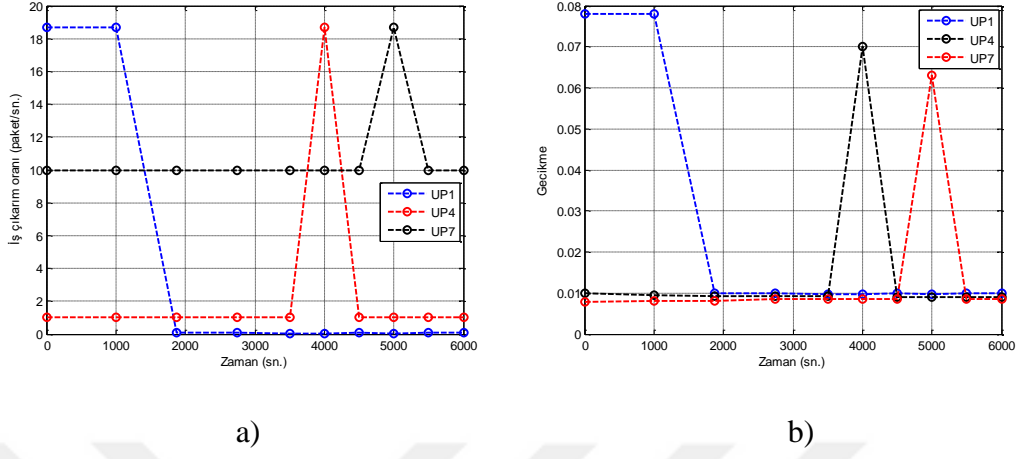


Şekil 5-35. İlk üç düğümün vücut üzerindeki yerleri.

Benzetimdeki her bir HUB düğümünün iş çıkarım oranı ve uçtan uca gecikme sonuçları bulunmaktadır. UP1, UP4 ve UP7 düğümleri örnek olarak seçilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5-36 a)'da iş çıkarım oranları, b)'de gecikme sonuçları gösterilmiştir. Şekil 5-36 a)'da UP1, UP4 ve UP7 düğümlerinin benzetim sırasındaki iş çıkarım sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.6'de verildiği gibi önerilen HUB seçim algoritması ilk önce HUB düğümü olarak UP1 düğümünü seçmektedir. Burada HUB düğümünün saniyedeki paket sayısı 19 olarak bulunmuştur. UP1 düğümünün iş çıkarım oranı 1000. saniyeden sonra azalmaktadır. Bunun nedeni UP1 düğümünün enerji seviyesinin eşik değerine bu süre içinde ulaşması ve önerilen algoritmanın HUB olarak yeni bir düğüm seçmesidir. UP4 ve UP7, HUB olarak seçildiklerinde iş çıkarım oranları 19 paket/sn. olacak şekilde artmaktadır.

Şekil 5-36 b)'de UP1, UP4 ve UP7 düğümleri için uçtan uca gecikme sonuçları verilmiştir. UP7 düğümü minimum gecikmeye sahipken, UP1 düğümü HUB görevini yerine getirirken maksimum gecikmeye sahip olduğu görülmüştür. Bu farklılığın en önemli nedeni, düğümlere ÇP değerleri ile atanan öncelik değerleri ve HUB görevi üstelenen düğümlerin iş yükleridir. UP7 düğümü önceliği itibarı ile en düşük ÇP değerine sahip olduğundan, HUB olarak seçildiğinde ortama ilk erişimi gerçekleştirmektedir. Bu sayede diğer düğümlere nazaran paket çarpışmaları ve tekrar paket gönderme olasılığı da düşmektedir. Diğer taraftan, daha büyük ÇP değerlerine yani daha düşük önceliklere sahip olan UP1 ve UP4 düğümleri HUB olarak seçildiğinde uçtan uca gecikme sonuçlarında artış gözlemlenmiştir. IEEE 802.15.6 standardında sabit olarak tanımlanmış

HUB düğümünün aksine dinamik HUB seçim algoritması KVAA ağının ömrünü yaklaşık dört kat arttırmaktadır.



Şekil 5-36. UP1, UP4 ve UP7'nin a) iş çıkarım oranları b) uçtan uca gecikme sonuçları.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KVAA mimarisi, insanlar için birçok açıdan çok önemlidir. Uzaktan sağlık izleme, askeri uygulamalar ve spor aktiviteleri için kullanılmaya müsait altyapıya sahip KVAA mimarisi, her geçen gün daha çok talep görmektedir. Bu talebin karşılanabilmesi amacıyla KVAA mimarisi için özel geliştirilmiş IEEE 802.15.6 standardını destekleyen donanımlara ve yeni çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. YTA yaklaşımı, ağ dünyasında adından sıkça söz edilen ve geleceğin internet alt yapısını dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir yaklaşımdır. Bu doktora tez çalışmasında;

CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardı üzerine inşa edilmiş bir KVAA mimarisinin performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Gecikme, iş çıkarım oranı ve enerji tüketim sonuçları incelenmiş ve KVAA-içi haberleşme için ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardının tanımladığı servis kalite gereksinimlerinin karşılandığı tespit edilmiştir.

Dinamik, heterojen ve karmaşık ağ altyapısına sahip KVAA mimarisi için YTA yaklaşımına dayalı denetleyici ve çeşitli algılayıcı düğümlerden oluşan yeni bir mimari (YT-KVAA) geliştirilmiştir. YT-KVAA mimarisi, tüm ağ altyapılarını standart bir ağ ara yüzü ile yönetilebilmesine, dinamik, enerji duyarlı ve daha esnek bir yapıya sahip olmasına imkan sunan yeni bir mimaridir. HUB düğümü ile algılayıcı düğümler arasındaki iletişim için CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardı kullanılmıştır. HUB düğümleri ile denetleyici arasındaki tüm iletişim süreçlerinin tanımlandığı HUBsFlow adlı yeni bir ağ ara yüz protokolü geliştirilmiştir. İş çıkarım oranı, uçtan uca gecikme, paket kayıp oranları, bit hata oranları gibi ağ performans parametreleri Riverbed Modeler benzetim yazılımı ile incelenerek sonuçlar geleneksel KVAA mimarisiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, YTA yaklaşımı ile KVAA mimarisine ait performans sonuçlarının arttığı, çeşitli önceliklere göre ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardının tanımladığı servis kalite gereksinimlerinin karşılandığı ve tüm ağ performans parametrelerinde geleneksel KVAA ile karşılaştırıldığında daha uygun sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Ayrıca karmaşık bir ağ altyapısına sahip KVAA mimarisinin kontrol ve yönetim süreçlerinde YTA yaklaşımının kilit bir rol oynadığı görülmüştür.

YT-KVAA mimarisi için denetleyici üzerinde çalışan enerji duyarlı yeni bir yönlendirme

algoritması (SDNRouting) geliştirilmiş ve farklı senaryolarda performans analizleri uygulanmıştır. Merkezi ve reaktif bir yönlendirme mekanizmasına sahip SDNRouting algoritmasının rota karar sürecinde SNR ve pil seviyesi metrikleri kullanılmıştır. Denetleyici tarafından gerçekleştirilen yönlendirme sürecinde en uygun rota Dijkstra algoritması yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Pil seviyesi bir eşik değeri olarak tanımlanmış ve eşik değere ulaşan HUB düğümlerinin ara düğüm olarak seçilmesinin önüne geçilmiştir.

YT-KVAA mimarisi için Bulanık tabanlı Dijkstra tekniği kullanılarak yeni bir enerji verimli yönlendirme algoritması (ESR-W) daha geliştirilmiştir. ESR-W algoritması, AODV ve SDNRouting algoritmaları ile karşılaştırılmış ve daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yönlendirme karar sürecinde, Bulanık tabanlı Dijkstra tekniği ile SNR, atlama sayısı ve pil seviyesi metriklerinin kullanılması enerji tüketimi açısından daha iyi performans sağlamıştır. AODV algoritmasında, bazı HUB düğümlerinin aşırı kullanıldığı ve bazılarının neredeyse hiç kullanılmadığı görülürken, SDNRouting algoritmasında bu sorunun kısmen çözüldüğü ancak en uygun rota bulunurken daha çok atlamaya sebep olacak kararlar verildiği gözlemlenmiştir. ESR-W algoritması ile bu sorunların da çözüldüğü görülmüştür. YTA yaklaşımı sayesinde, gerçek zamanlı olarak rota değiştirme yeteneği de ağ performansına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. ESR-W algoritmasının iş çıkarım oranı, uçtan uca gecikme değerleri, başarılı iletim oranı ve enerji tüketim sonuçlarında daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, ESR-W algoritmasına eklenen atlama sayısı yönlendirme metriği ile bulanık mantık tekniğinden yararlanılması yönlendirme işleminin daha verimli çalışmasını sağlamıştır.

YT-KVAA mimarisi için denetleyici kapsama alanı dışında bulunan, tehlike altındaki kişilerin hedefe (acil durum merkezleri) yardım çağrısı göndermek zorunda kaldıkları afet durumlarında kullanılacak bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçim algoritması (BAS) geliştirilmiştir. Afet durum senaryoları için BAS algoritmasının performans analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların afet durumları için iyi ve doğru bir performansa sahip olduğunu doğrulamıştır.

Son olarak, IEEE 802.15.6 standardına sahip KVAA mimarisi için dinamik HUB seçim algoritması geliştirilmiştir. IEEE 802.15.6 standardında HUB düğümleri sabit olarak tanımlanmış ve bu durumun yüksek SAR etkisi oluşturabileceği, bunun bir sonucu olarak da insan vücuduna çok daha fazla hasara neden olabileceği öngörülmüştür. Önerilen bulanık mantık temelli karar sistemi ile HUB düğümü, SAR değeri, pil seviyesi ve

algılayıcı düğümlerinin IEEE 802.15.6 standardında tanımladığı öncelik parametrelerine göre dinamik olarak seçilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın HUB düğümü olarak en uygun algılayıcı düğümü seçebildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak YT-KVAA mimarisi; HUB düğümlerinin gerçek zamanlı programlanabilmesine, iletim rotalarının gerçek zamanlı değiştirilebilmesine, farklı üretici firmaların ürettiği HUB düğümlerinin standart bir ağ ara yüz protokolü ile birlikte çalışabilmesine, sınırlı hafıza ve enerji kaynakları olan HUB düğümlerinin akıllı yönlendirme kararları gibi ağır hesaplama gerektiren algoritmalarından ve kontrol programlarından arındırılmasına, paylaşılan kablosuz ağ ortamının daha etkili ve verimli kullanılmasına, kontrol ve yönetim işlemlerinin merkezi bir noktadan gerçekleştirilmesine imkan sunmuştur.

Gelecekteki çalışmalar için, akış tablolarını daha verimli kullanmak amacıyla, kural yerleştirme politikaları üzerine, denetleyiciler arasındaki iletişim için çoklu denetleyici ve ağ ara yüz protokolleri üzerinde daha fazla çalışma yapılması planlanmaktadır. Yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesi için SAR ve veri hızı gibi farklı parametrelerin dikkate alınması düşünülmektedir. Önerilen yönlendirme algoritmaları KVAA-arası iletişimi için tasarlanmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, geliştirilen yönlendirme algoritmasının KVAA-içi iletişimde de kullanılabilmesi planlanmaktadır. YT-KVAA mimarisi hastanın kişisel sağlık verilerini işlediğinden, güvenlik ve gizlilik önemli konular olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu mimaride, her kullanıcıdan veri toplandığında büyük miktarlarda veri üretilmekte, böylece daha karmaşık sistemlerin oluşmasına ve siber suç yapılarına karşı savunmasız hale dönüşmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, gelecekteki çalışmalarda, YT-KVAA mimarisi için güvenlik konuları önemli konu başlıklarından biri olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- [1] H. Cao, V. Leung, C. Chow, ve H. Chan, “Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook”, *IEEE Communications Magazine*, c. 47, sayı 12, ss. 84–93, 2009.
- [2] N. Feamster, J. Rexford, ve E. Zegura, “The Road to SDN: An Intellectual History of Programmable Networks”, *ACM Sigcomm Computer Communication*, c. 44, sayı 2, ss. 87–98, 2014.
- [3] I. F. Akyildiz, A. Lee, P. Wang, M. Luo, ve W. Chou, “A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks”, *Computer Networks*, c. 71, ss. 1–30, 2014.
- [4] H. Ben Elhadj, J. Elias, L. Chaari, ve L. Kamoun, “A Priority based Cross Layer Routing Protocol for healthcare applications”, *Ad Hoc Networks*, c. 42, ss. 1–18, 2016.
- [5] R. Kara, “Gezgin tasarsız ağlar için yeni bir konum tabanlı melez yönlendirme algoritması”, Doktora tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [6] M. Al-Hubaishi, C. Çeken, ve A. Al-Shaikhli, “A novel energy-aware routing mechanism for SDN-enabled WSAAN”, *International Journal of Communication Systems*, c. 32, sayı 17, s. e3724, 2019.
- [7] Y. Deng, Y. Chen, Y. Zhang, ve S. Mahadevan, “Fuzzy Dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environment”, *Applied Soft Computing*, c. 12, sayı 3, ss. 1231–1237, 2012.
- [8] M. Al Shayokh, J. W. Kim, ve S. Y. Shin, “Cloud based Software Defined Wireless Body Area Networks Architecture for Virtual Hospital”, *Proceedings of the 10th EAI International Conference on Body Area Networks*, Sydney, Australia, 2015, ss. 92–95.
- [9] M. Al Shayokh, A. Abeshu, G. B. Satrya, ve M. A. Nugroho, “Efficient and secure data delivery in software defined WBAN for virtual hospital”, *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications*, Bandung, Indonesia, 2016, ss. 12–16.
- [10] F. Sallabi, F. Naeem, M. Awad, ve K. Shuaib, “Managing IoT-Based Smart Healthcare Systems Traffic with Software Defined Networks”, *International Symposium on Networks, Computers and Communications*, Rome, Italy, 2018, ss. 1–6.
- [11] K. Hasan, X.-W. Wu, K. Biswas, ve K. Ahmed, “A Novel Framework for Software Defined Wireless Body Area Network”, *8th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2018, ss. 114–119.
- [12] L. Hu, M. Qiu, J. Song, M. S. Hossain, ve A. Ghoneim, “Software defined healthcare networks”, *IEEE Wireless Communications*, c. 22, sayı 6, ss. 67–75,

2015.

- [13] G. S. Aujla, R. Chaudhary, K. Kaur, S. Garg, N. Kumar, ve R. Ranjan, “SAFE: SDN-Assisted Framework for Edge–Cloud Interplay in Secure Healthcare Ecosystem”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, c. 15, sayı 1, ss. 469–480, 2019.
- [14] S. Jiang, M. Duan, ve L. Wang, “Toward Privacy-Preserving Symptoms Matching in SDN-Based Mobile Healthcare Social Networks”, *IEEE Internet of Things Journal*, c. 5, sayı 3, ss. 1379–1388, 2018.
- [15] A. C. Baktir, C. Tunca, A. Ozgovde, G. Salur, ve C. Ersoy, “SDN-Based Multi-Tier Computing and Communication Architecture for Pervasive Healthcare”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 56765–56781, 2018.
- [16] M. A. Salahuddin, A. Al-Fuqaha, M. Guizani, K. Shuaib, ve F. Sallabi, “Softwarization of Internet of Things Infrastructure for Secure and Smart Healthcare”, *Computer*, c. 50, sayı 7, ss. 74–79, 2017.
- [17] T.-M. Li, C.-C. Liao, H.-H. Cho, W.-C. Chien, C. F. Lai, ve H.-C. Chao, “An e-healthcare sensor network load-balancing scheme using SDN-SFC”, *IEEE 19th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, Dalian, China, 2017, ss. 1–4.
- [18] A. Izaddoost ve C. McGregor, “Enhance Network Communications in a Cloud-Based Real-Time Health Analytics Platform Using SDN”, *IEEE International Conference on Healthcare Informatics*, Chicago, USA, 2016, ss. 388–391.
- [19] T. Luo, H. P. Tan, ve T. Q. S. Quek, “Sensor openflow: Enabling software-defined wireless sensor networks”, *IEEE Communications Letters*, c. 16, sayı 11, ss. 1896–1899, 2012.
- [20] S. Bera, S. Misra, S. K. Roy, ve M. S. Obaidat, “Soft-WSN: Software-Defined WSN Management System for IoT Applications”, *IEEE Systems Journal*, c. 12, sayı 3, ss. 2074–2081, 2018.
- [21] A. B. Al-Shaikhli, C. Çeken, ve M. Al-Hubaishi, “WSANFlow: An Interface Protocol Between SDN Controller and End Devices for SDN-Oriented WSN”, *Wireless Personal Communications*, c. 101, sayı 2, ss. 755–773, 2018.
- [22] C. Çeken. (2018, 11 Aralık) *Internet of Things Research Laboratory Sakarya University*. [Online]. Erişim: <http://www.iotlab.sakarya.edu.tr/Projects/Project1.html>.
- [23] A.-C. Anadiotis, L. Galluccio, S. Milardo, G. Morabito, ve S. Palazzo, “SD-WISE: A Software-Defined Wireless Sensor network”, *Computer Networks*, c. 159, ss. 84–95, 2019.
- [24] S. Misra, S. Bera, A. M. P., S. K. Pal, ve M. S. Obaidat, “Situation-Aware Protocol Switching in Software-Defined Wireless Sensor Network Systems”, *IEEE Systems Journal*, c. 12, sayı 3, ss. 2353–2360, 2018.
- [25] L. Peizhe, W. Muqing, L. Wenxing, ve Z. Min, “A Game-Theoretic and Energy-Efficient Algorithm in an Improved Software-Defined Wireless Sensor Network”, *IEEE Access*, c. 5, ss. 13430–13445, 2017.
- [26] N. Kumar ve D. P. Vidyarthi, “A Green Routing Algorithm for IoT-Enabled Software Defined Wireless Sensor Network”, *IEEE Sensors Journal*, c. 18, sayı

- 22, ss. 9449–9460, 2018.
- [27] M. L. F. Miguel, M. C. Penna, E. Jamhour, ve M. E. Pellenz, “A CoAP based control plane for software defined wireless sensor networks”, *Journal of Communications and Networks*, c. 19, sayı 6, ss. 555–562, 2017.
- [28] I. Haque, M. Nurujjaman, J. Harms, ve N. Abu-Ghazaleh, “SDSense: An Agile and Flexible SDN-Based Framework for Wireless Sensor Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 68, sayı 2, ss. 1866–1876, 2019.
- [29] I. F. Akyildiz, P. Wang, ve S.-C. Lin, “SoftAir: A software defined networking architecture for 5G wireless systems”, *Computer Networks*, c. 85, ss. 1–18, 2015.
- [30] F. Silva, J. Castillo-Lema, A. Neto, F. Silva, ve P. Rosa, “Software defined eHealth networking towards a truly mobile and reliable system”, *IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, Natal, Brazil, 2015, ss. 560–564.
- [31] S. Ullah ve K. S. Kwak, “Throughput and delay limits of IEEE 802.15.6”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Cancun, Quintana Roo, Mexico, 2011, ss. 174–178.
- [32] S. Ullah, M. Chen, ve K. S. Kwak, “Throughput and Delay Analysis of IEEE 802.15.6-based CSMA/CA Protocol”, *Journal of Medical Systems*, c. 36, sayı 6, ss. 3875–3891, 2012.
- [33] S. Ullah ve E. Tovar, “Performance analysis of IEEE 802.15.6 contention-based MAC protocol”, *IEEE International Conference on Communications*, London, UK, 2015, ss. 6146–6151.
- [34] S. Ullah, E. Tovar, K.-I. Kim, K. H. Kim, ve M. Imran, “Performance Analysis of Priority-Based IEEE 802.15.6 Protocol in Saturated Traffic Conditions”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 66198–66209, 2018.
- [35] S. Rashwand, J. Misić, ve V. B. Misić, “Analysis of CSMA/CA Mechanism of IEEE 802.15.6 under Non-Saturation Regime”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, c. 27, sayı 5, ss. 1279–1288, 2016.
- [36] S. Rashwand, J. Mišić, ve H. Khazaee, “Performance analysis of IEEE 802.15.6 under saturation condition and error-prone channel”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Cancun, Quintana Roo, Mexico, 2011, ss. 1167–1172.
- [37] S. Sarkar, S. Misra, C. Chakraborty, ve M. S. Obaidat, “Analysis of reliability and throughput under saturation condition of IEEE 802.15.6 CSMA/CA for wireless body area networks”, *IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX, USA, 2014, ss. 2405–2410.
- [38] S. Sarkar, S. Misra, B. Bandyopadhyay, C. Chakraborty, ve M. S. Obaidat, “Performance analysis of IEEE 802.15.6 mac protocol under non-ideal channel conditions and saturated traffic regime”, *IEEE Transactions on Computers*, c. 64, sayı 10, ss. 2912–2925, 2015.
- [39] A. Al-Mazroa ve N. E. Rikli, “Performance evaluation of IEEE 802.15.6 MAC in WBANs - A case study”, *6th International Conference on Information Technology and Multimedia at UNITEN: Cultivating Creativity and Enabling Technology Through the Internet of Things*, Putrajaya, Malaysia, 2015, ss. 66–71.

- [40] L. Xu, F. Liu, C. Yi, T. Guan, ve Y. Li, “Performance analysis of IEEE 802.15.6 MAC protocol based on battery characteristics under saturation and error-prone channel”, *12th International Conference on Signal Processing*, Hangzhou, China, 2014, ss. 2237–2242.
- [41] I. Kirbas, A. Karahan, A. Sevin, ve C. Bayilmis, “isMAC: An adaptive and energy-efficient MAC protocol based on multi-channel communication for wireless body area networks”, *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, c. 7, sayı 8, ss. 1805–1824, 2013.
- [42] İ. Kırbaş, “Dinamik Lider Düğüm ve Çakışma Önleme Temelli Kablosuz Vücut Alan Ağı OEK Protokolü Tasarımı ve Gerçeklemesi”, Doktora tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2013.
- [43] A. Sevin, “Kablosuz Vücut Alan Ağları için Servis Kalitesi Destekli Yeni Bir Ortam Erişim Kontrol Protokolü”, Doktora tezi, Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2016.
- [44] K. Gündoğdu ve A. Çalhan, “An Implementation of Wireless Body Area Networks for Improving Priority Data Transmission Delay”, *Journal of Medical Systems*, c. 40, sayı 75, ss. 1–7, 2016.
- [45] A. Çalhan, “Performance Analysis of Traffic Sensitive Wireless Body Area Networks”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, c. 21, sayı 5, ss. 172–177, 2015.
- [46] A. Çalhan, K. Gündoğdu, M. Cicioğlu, ve M. E. Bayrakdar, “Energy Harvesting Unit Design for Body Area Networks”, *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, c. 2, sayı 1, ss. 1–8, 2019.
- [47] Y. Qu, G. Zheng, H. Ma, X. Wang, B. Ji, ve H. Wu, “A Survey of Routing Protocols in WBAN for Healthcare Applications”, *Sensors*, c. 19, sayı 7, ss. 1-24, 2019.
- [48] P. Khan N. Ullah, F. Ali, S. Ullah, Y. S. Hong, K. Y. Lee, ve H. Kim, “Performance analysis of different backoff algorithms for WBAN-based emerging sensor networks”, *Sensors (Switzerland)*, c. 17, sayı 3, ss. 1-21, 2017.
- [49] Z. Ullah, I. Ahmed, T. Ali, N. Ahmad, F. Niaz, ve Y. Cao, “Robust and Efficient Energy Harvested-Aware Routing Protocol With Clustering Approach in Body Area Networks”, *IEEE Access*, c. 7, ss. 33906–33921, 2019.
- [50] *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks*, IEEE Computer Society 12604559, 2012.
- [51] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, ve A. Jamalipour, “Wireless Body Area Networks: A Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 16, sayı 3, ss. 1658–1686, 2014.
- [52] R. Cavallari, F. Martelli, R. Rosini, C. Buratti, ve R. Verdone, “A Survey on Wireless Body Area Networks: Technologies and Design Challenges”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 16, sayı 3, ss. 1635–1657, 2014.
- [53] F. Akhtar ve M. H. Rehmani, “Energy Harvesting for Self-Sustainable Wireless Body Area Networks”, *IT Professional*, c. 19, sayı 2, ss. 32–40, 2017.

- [54] B. Abidi, A. Jilbab, ve E. H. Mohamed, “An energy efficiency routing protocol for wireless body area networks”, *Journal of Medical Engineering & Technology*, c. 42, sayı 4, ss. 290–297, 2018.
- [55] C. Tachtatzis, F. Di Franco, D. C. Tracey, N. F. Timmons, ve J. Morrison, “An energy analysis of IEEE 802.15.6 scheduled access modes for medical applications”, *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, Miami, FL, USA, 2012, ss. 209–222.
- [56] C. Bayilmis ve M. Younis, “Energy-aware gateway selection for increasing the lifetime of wireless body area sensor networks”, *Journal of Medical Systems*, c. 36, sayı 3, ss. 1593–1601, 2012.
- [57] S. Ullah, B. Shen, S. M. Riazul Islam, P. Khan, S. Saleem, ve K. Sup Kwak, “A Study of MAC Protocols for WBANs”, *Sensors*, c. 10, sayı 1, ss. 128–145, 2009.
- [58] R. Huang, Z. Nie, C. Duan, Y. Liu, L. Jia, ve L. Wang, “Analysis and Comparison of the IEEE 802.15.4 and 802.15.6 Wireless Standards Based on MAC Layer”, *International Conference on Health Information Science*, Xi'an, China, 2015, ss. 7–16.
- [59] C.-Y. Park, J.-H. Lim, ve S. Park, “ISO/IEEE 11073 PHD standardization of legacy healthcare devices for home healthcare services”, *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, Las Vegas, NV, USA, 2011, ss. 547–548.
- [60] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, ve P. Verissimo, “Towards secure and dependable software-defined networks”, *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking*, Hong Kong China, 2013, ss. 55–60.
- [61] B. A. A. Nunes, M. Mendonca, X. N. Nguyen, K. Obraczka, ve T. Turetletti, “A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, c. 16, sayı 3, ss. 1617–1634, 2014.
- [62] S. Bera, S. Misra, ve A. V. Vasilakos, “Software-Defined Networking for Internet of Things: A Survey”, *IEEE Internet of Things Journal*, c. 4, sayı 6, ss. 1994–2008, 2017.
- [63] H. Farhady, H. Lee, ve A. Nakao, “Software-Defined Networking: A survey”, *Computer Networks*, c. 81, ss. 79–95, 2015.
- [64] M. Cicioğlu ve A. Çalhan, “Yazılım Tanımlı Ağlar”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 684–695, 2017.
- [65] M. Cicioğlu, S. Cicioğlu, ve A. Çalhan, “Performance analysis of software-defined network approach for wireless cognitive radio networks”, *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, İzmir, Türkiye, 2018, ss. 1-6.
- [66] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky, ve S. Uhlig, “Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey”, *Proceedings of the IEEE*, c. 103, sayı 1, ss. 14–76, 2015.
- [67] N. M. M. K. Chowdhury ve R. Boutaba, “A survey of network virtualization”, *Computer Networks*, c. 54, sayı 5, ss. 862–876, 2010.

- [68] A. Drescher, “A Survey of Software-Defined Wireless Networks”, *Washington University in St.Louis*, ss. 1–15, 2014.
- [69] I. T. Haque ve N. Abu-Ghazaleh, “Wireless Software Defined Networking: A Survey and Taxonomy”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 18, sayı 4, ss. 2713–2737, 2016.
- [70] R. Riggio, M. K. Marina, J. Schulz-Zander, S. Kuklinski, ve T. Rasheed, “Programming Abstractions for Software-Defined Wireless Networks”, *IEEE Transactions on Network and Service Management*, c. 12, sayı 2, ss. 146–162, 2015.
- [71] C. Bernardos, A. De La Oliva, P. Serrano, A. Banchs, L. M. Contreras, H. Jin, ve J. C. Zúñiga, “An architecture for software defined wireless networking”, *IEEE Wireless Communications*, c. 21, sayı 3, ss. 52–61, 2014.
- [72] *Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Binding for IEEE 802.11*, IETF RFC5416, 2009.
- [73] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, ve J. Turner, “OpenFlow: enabling innovation in campus networks”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, c. 38, sayı 2, ss. 1-6, 2008.
- [74] C. E. Palazzi, M. Brunati, ve M. Rocchetti, “An OpenWRT solution for future wireless homes”, *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Suntec City, Singapore, 2010, ss. 1701–1706.
- [75] ONF. (2017, 10 Şubat) *Open Networking Foundation* [Online]. Erişim: <https://www.opennetworking.org>.
- [76] A. Lara, A. Kolasani, ve B. Ramamurthy, “Network Innovation using OpenFlow: A Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 16, sayı 1, ss. 493–512, 2014.
- [77] M. E. Bayrakdar ve A. Çalhan, “Improving spectrum handoff utilization for prioritized cognitive radio users by exploiting channel bonding with starvation mitigation”, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, c. 71, ss. 181–191, 2017.
- [78] M. E. Bayrakdar, “Bilişsel radyo ağlarında spektrum el değiştirme yöntemlerinin modellenmesi ve analizi”, Doktora tezi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [79] R. Zhang, H. Mounpla, ve A. Mehaoua, “Delay Analysis of IEEE 802.15.6 CSMA/CA Mechanism in Duty-Cycling WBANs”, *IEEE Global Communications Conference*, San Diego, USA, 2015, ss. 1–6.
- [80] S. Costanzo, L. Galluccio, G. Morabito, ve S. Palazzo, “Software Defined Wireless Networks: Unbridling SDNs”, *European Workshop on Software Defined Networking*, Darmstadt, Germany, 2012, ss. 1–6.
- [81] N. A. Jagadeesan ve B. Krishnamachari, “Software-Defined Networking Paradigms in Wireless Networks: A Survey”, *ACM Computing Surveys*, c. 47, sayı 2, ss. 1–11, 2014.
- [82] I. Maity, A. Mondal, S. Misra, ve C. Mandal, “CURE: Consistent Update With Redundancy Reduction in SDN”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 66, sayı 9, ss. 3974–3981, 2018.

- [83] S. Bera, S. Misra, ve A. Jamalipour, “FlowStat: Adaptive Flow-Rule Placement for Per-Flow Statistics in SDN”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 37, sayı 3, ss. 530–539, 2019.
- [84] L. A. Zadeh, *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Systems : selected papers / by Lotfi A. Zadeh*, New York, USA: World Scientific Publishing, 1996, ss. 7-127.
- [85] R. P. Findlay ve P. J. Dimbylow, “SAR in children from exposure to wireless local area networks (WLAN)”, *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Singapore, 2012, ss. 733–736.
- [86] D. L. Means ve K. W. Chan, “Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radio frequency electromagnetic fields”, Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission, Washington, USA, Rep. 6, 1997.
- [87] SteelCentral. (2018, 13 Mart), *Riverbed Modeler Software* [Online]. Erişim: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>.
- [88] M. Cicioğlu ve A. Çalhan, “IoT-based wireless body area networks for disaster cases”, *International Journal of Communication Systems*, s. e3864, 2018.
- [89] M. Cicioğlu ve A. Çalhan, “HUBsFLOW: A novel interface protocol for SDN-enabled WBANs”, *Computer Networks*, c. 160, ss. 105–117, 2019.
- [90] M. Cicioğlu ve A. Çalhan, “SDN-based wireless body area network routing algorithm for healthcare architecture”, *ETRI Journal*, c. 41, sayı 4, ss. 452–464, 2019.
- [91] M. Cicioglu ve A. Çalhan, “Dynamic HUB Selection Process Based on Specific Absorption Rate for WBANs”, *IEEE Sensors Journal*, c. 19, sayı 14, ss. 5718–5722, 2019.
- [92] Zigbee Specification. (2018, 20 Mart) *Zigbee Alliance* [Online]. Erişim: [http://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2011/kjb79_ajm232/pmeter/ZigBee Specification.pdf](http://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2011/kjb79_ajm232/pmeter/ZigBee%20Specification.pdf).
- [93] Crossbow Technology. (2018, 20 Mart) *MICAz: Wireless Measurement System Product Datasheet* [Online]. Erişim: http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf.
- [94] B. H. Jung, R. U. Akbar, ve D. K. Sung, “Throughput, energy consumption, and energy efficiency of IEEE 802.15.6 body area network (BAN) MAC protocol”, *IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sydney, Australia, 2012, ss. 584–589.
- [95] J.-H. Hwang, T.-W. Kang, Y.-T. Kim, ve S.-O. Park, “Analysis on Co-channel Interference of Human Body Communication Supporting IEEE 802.15.6 BAN Standard”, *ETRI Journal*, c. 37, sayı 3, ss. 439–449, 2015.
- [96] C. E. Perkins ve E. M. Royer, “Ad-hoc on-demand distance vector routing”, *Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Washington, USA, 1999, ss. 90–100.
- [97] Q. Wang, M. Hempstead, ve W. Yang, “A Realistic Power Consumption Model for Wireless Sensor Network Devices”, *3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, Reston, USA 2006, ss.

286–295.

- [98] N. A. Pantazis, S. A. Nikolidakis, ve D. D. Vergados, “Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 15, sayı 2, ss. 551–591, 2013.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Murtaza CİCİOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri :24/05/1987 - Mardin
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :murtazacicioglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Y. Lisans	Eğitim Yönetimi ve Denetimi	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2014
Lisans	Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi	Kocaeli Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Osmaniye MTAL	2006

MESLEKİ DENEYİM

Görev Dönemi	Unvan	Çalıştığı Kurum	Bölüm
2009 – ...	Teknik Öğretmen	Milli Eğitim Bakanlığı	Bilişim Teknolojileri
2014 – ...	B Sınıfı İSG Uzmanı	Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı	İş Sağlığı ve Güvenliği
2007 - 2009	Eğitmen	Kocaeli Halk Eğitim Merkezi	Bilişim Teknolojileri

PROJELER

Görev Tanımı	Proje Adı	Destekleyen Kurum	Durum
Proje Araştırmacısı	Bilişsel Radyo Tabanlı Vücut Alan Ağları için Vücut Sönümleme Etkisi ile Kanal Modellenmesi	Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri	Bitti
Proje Araştırmacısı	Vücut Alan Ağı Kontrollü Tekerlekli Sandalye için Enerji Hasadı Uygulaması	Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri	Bitti

ULUSLARARASI (SCI, SCI-E) HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Yazarlar	Makale Başlığı	Dergi Adı	Cilt (Sayı), Sayfa	Tarih
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	HUBsFLOW: A Novel Interface Protocol for SDN-enabled WBANs	Computer Networks	160, 105-117	Eylül 2019
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Dynamic HUB Selection Process Based on Specific Absorption Rate for WBANs	IEEE Sensors Journal	19 (14), 5718-5722	Temmuz 2019
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	SDN Based Wireless Body Area Network Routing Algorithm for Healthcare Architecture	ETRI Journal	41 (4), 452-464	Ağustos 2019
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Performance Analysis of IEEE 802.15.6 for Underground Disaster Cases	Computer Standards & Interfaces	66, 103364	Ekim 2019
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	IoT Based Wireless Body Area Networks for Disaster Cases	International Journal of Communication Systems	e3864	Aralık 2018
Murtaza CİCİOĞLU, M. Enes BAYRAKDAR, Ali ÇALHAN	Performance Analysis of a New MAC Protocol for Wireless Cognitive Radio Networks	Wireless Personal Communications	108 (1), 67-86	Eylül 2019

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN BİLDİRİLER

Yazarlar	Bildiri Başlığı	Toplantı Adı	Sayfa	Tarih, Yer
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	SDN-Enabled Wireless Body Area Networks	6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (IEEE)	1-5	25-27 Ekim. 2018
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Performance Evaluation of Dynamic HUB Selection Algorithm for WBAN	6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (IEEE)	1-5	25-27 Ekim. 2018
Murtaza CİCİOĞLU, M. Enes BAYRAKDAR, Ali ÇALHAN	Performance Analysis of MAC Technique Developed for Wireless Cognitive Radio Networks	26th Signal Processing and Communications Applications Conference (IEEE)	1-4	2-5 Mayıs. 2018
Murtaza CİCİOĞLU, Seda CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Performance Analysis of Software-Defined Network Approach for Wireless Cognitive Radio Networks	26th Signal Processing and Communications Applications Conference (IEEE)	1-4	2-5 Mayıs. 2018
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Kablosuz Vücut Alan Ağlarında 802.15.6 OEK Tekniğinin Performans Analizi	II. Engineers of Future International Student Symposium, Zonguldak Üniversitesi	88	07-09 Haziran 2018
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Yazılım Tanımlı Ağ Yaklaşımına Dayalı Kablosuz Bilişsel Radyo Ağları için Yeni Bir OEK Tekniği: CRFLOW	II. Engineers of Future International Student Symposium, Zonguldak Üniversitesi	89	07-09 Haziran 2018
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Yazılım Tanımlı Ağlarda Denetleyiciler	Ines International Academic Research Congress	3027-3031	03-05 Kasım 2016
Murtaza CİCİOĞLU, Seda CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Yazılım Tanımlı Bilişsel Radyo (YT-BR) Ağları	Ines International Academic Research Congress	3023-3026	03-05 Kasım 2016

ULUSLARARASI DİĞER HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Yazarlar	Makale Başlığı	Dergi Adı	Cilt (Sayı), Sayfa	Tarih
Murtaza CİCİOĞLU, Şenay Sezgin NARTGÜN	Problematic Internet Use and Cyber Bullying in Vocational School Students	International Online Journal of Educational Sciences	7 (3), 10-26	2015

ULUSAL HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Yazarlar	Makale Başlığı	Dergi Adı	Cilt (Sayı), Sayfa	Tarih
Ali ÇALHAN, Köksal GÜNDOĞDU, Murtaza CİCİOĞLU, Muhammed Enes BAYRAKDAR	Energy Harvesting Unit Design for Body Area Networks	Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences	2(1), 1-8	2019
Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN	Yazılım Tanımlı Ağlar	Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi	7(2), 684-695	2017
Türkan ARGON, Murtaza CİCİOĞLU	Meslek Lisesi Öğretmenlerinin Eğitime İnanma Düzeyi ile Öğretme Motivasyonları	The Journal of Academic Social Science Studies	(57), 1-23	2017

ULUSAL BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN BİLDİRİLER

Yazarlar	Bildiri Başlığı	Toplantı Adı	Sayfa	Tarih, Yer
Murtaza CİCİOĞLU, Seda, CİCİOĞLU, İbrahim	Bulanık Mantık ile Çamaşır Kurutma Makinesi Modellemesi	Akademik Bilişim (ASYU)	20	31 Ocak 2 Şubat 2016

YÜCEDAĞ

YABANCI DİL BİLGİLERİ

Yabancı Dil	Sınav Türü ve Yılı (ÜDS/KPDS/YDS)	Dil Puanı
İngilizce	YDS 2015	72,5

