



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

**IEEE 802.15.6 TABANLI KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI  
ARASINDA COĞRAFİ YÖNLENDİRME ALGORİTMASI  
TASARIMI VE BENZETİMİ**

**SEDA SAVAŞCI ŞEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. ALİ ÇALHAN**

**DÜZCE, 2020**

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

**IEEE 802.15.6 TABANLI KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI**  
**ARASINDA COĞRAFİ YÖNLENDİRME ALGORİTMASI**  
**TASARIMI VE BENZETİMİ**

Seda SAVAŞÇI ŞEN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur GÜVENÇ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Adnan SONDAŞ

Kocaeli Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/12/2020

## 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.

8 Aralık 2020

Seda SAVAŞÇI ŞEN



## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında öncelikle yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, gerek konu seçiminde ve gerekse çalışmaların yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen, akademisyen olma yolumda her türlü bilimsel katkıyı sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Ali ÇALHAN'a ve aynı şekilde fikirleri ile çalışmalarına her zaman destek veren ve yardımcı olan Murtaza CİCİOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda durup sabırla bana destek olan aileme ve çalışmalarım sırasında tüm yoğunluğuna rağmen yardımlarını esirgemeyen, başarabileceğime inanan ve güvenen, her zaman yanımda olan sevgili eşim Anıl ŞEN'e teşekkür ediyorum. Bu tez çalışmasını neşe ve motivasyon kaynağım olan kızım Ela'ya armağan ediyorum.

8 Aralık 2020

Seda SAVAŞCI ŞEN

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. AMAÇ VE KAPSAM .....	1
1.2. LİTERATÜR TARAMASI .....	2
1.3. TEZ ORGANİZASYONU.....	8
<b>2. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI .....</b>	<b>10</b>
2.1. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI MİMARİSİ .....	12
2.2. KVAA PROTOKOLÜ TASARLAMA ZORLUKLARI .....	16
2.3. IEEE 802.15.6 STANDARDI .....	17
2.3.1. IEEE 802.15.6 İletişim Yöntemleri .....	17
2.3.2. IEEE 802.15.6 Erişim Mekanizmaları .....	19
2.3.2.1. CSMA/CA Protokolü .....	20
2.4. ISO/ IEEE 11073 KİŞİSEL SAĞLIK VERİ STANDARDI.....	21
<b>3. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ... 22</b>	
3.1. TOPOLOJİ TABANLI YÖNLENDİRME .....	22
3.1.1. Proaktif Yönlendirme .....	23
3.1.2. Reaktif Yönlendirme.....	23
3.1.3. Hibrit Yönlendirme.....	24
3.2. KONUM TABANLI YÖNLENDİRME .....	25
3.2.1. Gecikme Toleranslı Ağ .....	26
3.2.2. Gecikme Toleranslı Olmayan Ağ.....	26
3.2.3. Hibrit Konum Tabanlı Yönlendirme .....	27
<b>4. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİ .....</b>	<b>28</b>
4.1. BENZETİM MODELİ .....	29
4.1.1. Riverbed Modeller Benzetim Yazılımı .....	29
4.1.2. Proje Modeli .....	31
4.1.3. Düğüm Modeli .....	31
4.1.4. Süreç Modeli .....	32
4.1.5. Paket Biçimleri .....	33
4.2. KVAA-İÇİ YÖNLENDİRME MİMARİSİ.....	33
4.2.1. CSMA/CA Temelli IEEE 802.15.6 Standardı.....	35
4.2.2. Öncelik Haritası .....	35

4.3. KVAA-ARASI COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİ .....	39
5. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	44
5.1. IEEE 802.15.6 OEQ TEKNİĞİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ .....	44
5.2. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ .....	45
5.2.1. Senaryo 1.....	46
5.2.2. Senaryo 2.....	50
5.3. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME ALGORİTMASI VE AODV YÖNLENDİRME ALGORİTMASI .....	53
5.4. KVAA İÇİN COĞRAFİ YÖNLENDİRMELİ İOT TABANLI GPS DESTEKLİ GÖZETİM SİSTEMİ.....	56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
7. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. KAA’larda veri iletim örneği. ....	3
Şekil 2.1. KAA’larda veri iletimi.....	10
Şekil 2.2. KVAA mimarisinin katmanlı ağ yapısı. ....	12
Şekil 2.3. KVAA-içi ve KVAA-arası haberleşme. ....	13
Şekil 2.4. IEEE 802 protokol katmanları ve OSI modeli.....	15
Şekil 2.5. IEEE 802.15.6 KVAA süper çerçeve modları.....	18
Şekil 4.1. Riverbed Modeller yazılımında KVAA iletişimi için ağ katmanları. ....	30
Şekil 4.2. Örnek proje modeli. ....	31
Şekil 4.3. Düğüm modeli. ....	32
Şekil 4.4. Düğüme ait süreç modeli. ....	33
Şekil 4.5. ACK paketi. ....	33
Şekil 4.6. CSMA / CA tabanlı IEEE 802.15.6 veri aktarım akış şeması. ....	35
Şekil 4.7. Riverbed Modeller'de proje modeli. ....	37
Şekil 4.8. Coğrafi yönlendirme akış diyagramı. ....	40
Şekil 4.9. Açgözlü ve yüz yönlendirme algoritmalar. ....	42
Şekil 5.1. Riverbed Modeller yazılımında düğümler.....	45
Şekil 5.2. Örnek KVAA-arası yönlendirme işleminde olası rotalar. ....	46
Şekil 5.3. İlk senaryonun Riverbed benzetim ortamı.....	48
Şekil 5.4. İlk senaryonun iş çıkarma oranları. ....	49
Şekil 5.5. İlk senaryonun gecikme sonuçları. ....	50
Şekil 5.6. İkinci senaryonun Riverbed benzetim ortamı.....	51
Şekil 5.7. İkinci senaryonun iş çıkarma oranları. ....	52
Şekil 5.8. İkinci senaryonun gecikme sonuçları. ....	52
Şekil 5.9. AODV RREQ ve RREP paketleri ile rota bulma. ....	54
Şekil 5.10. Senaryo 2 için HUB1’e bağlı düğümlerin gecikme sonuçları. ....	55
Şekil 5.11. Senaryo 2 için HUB1’e bağlı düğümlerin iş çıkarma sonuçları. ....	55
Şekil 5.12. Önerilen sistemin ağ benzetimi parçaları. ....	57
Şekil 5.13. Grafana'da tasarlanan benzetim arayüzü. ....	58

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Literatürdeki diğer çalışmalar.....	8
Çizelge 2.1. KAA ile KVAA arasındaki farklar.....	11
Çizelge 3.1. DSDV, DSR, AODV ve OLSR algoritmalarının karşılaştırması.....	24
Çizelge 4.1. KVAA kullanıcı öncelik sınıfları ve veriler (V: Veri – Y: Yönetim). .....	36
Çizelge 4.2. Öncelik sınıflarına göre ÇPmin ve ÇPmaks değerleri.....	36
Çizelge 4.3. CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardının sözde kodu.....	38
Çizelge 5.1. Senaryo 1 için benzetim parametreleri.....	47
Çizelge 5.2. Senaryo 2 için benzetim parametreleri.....	51
Çizelge 5.3.Maskeli ve maskesiz ölçülen sıcaklık ve nem değerleri.....	59



## KISALTMALAR

ACK	Alındığını Bildirme (Acknowledgement)
AODV	Geçici İsteğe Bağlı Mesafe Vektör Yönlendirme (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)
AP	Erişim Noktası (Access Point)
B	İşaret Paketi (Beacon)
BAN	Vücut Alan Ağları (Body Area Network)
BG	Bant Genişliği (Bandwidth)
BGR	Kör Coğrafi Yönlendirme (Blind Geographic Routing)
CAP	Çekişmeli Erişim Fazı (Contention Access Phase)
CH	Küme Başlığı (Cluster Head)
CLDP	Çapraz Bağlantı Algılama Protokolü (Cross- Link Detection Protocol)
CSMA/CA	Taşıyıcı Sezme Çoklu Erişim / Çarpışma Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
ÇP	Çekişme Penceresi
DFD	Dinamik İletim Gecikmesi (Dynamic Forwarding Delay)
DNS	Alan Adı Sistemi (Domain Name System)
DSDV	Hedef-Sıralı Mesafe-Vektör Yönlendirme (Destination-Sequenced Distance Vector)
DSR	Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü (Dynamic Source Routing)
DTN	Gecikme Toleranslı Ağ (Delay/Disruption Tolerant Networking)
EAP	Özel Erişim Fazı (Exclusive Access Phase)
EEG	Elektroensefalografi
EKG	Elektrokardiyografi
FR	Yüz Yönlendirme (Face Routing)
GDSTR	Açgözlü Dağıtılmış Kapsama Ağacı Yönlendirme (Greedy Distributed Spanning Tree Routing)
GEAR	Coğrafi ve Enerjiye Duyarlı Yönlendirme (Geographic and Energy Aware Routing)
GIDR	Coğrafi Tabanlı Alanlar Arası Yönlendirme (Geo-based Inter-Domain Routing)
GPS	Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GPSR	Açgözlü Çevre Durumsuz Yönlendirme (Greedy Perimeter Stateless Routing)
GR	Açgözlü Yönlendirme (Greedy Routing)
GRMT	Mobil Turist için Coğrafi Yönlendirme (Geographical Routing for Mobile Tourist)
HBC	İnsan Vücudu İletişimi (Human Body Communication)
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 Ağlar (Wireless Area Networks)

KVAA	Kablosuz Vücut Alan Ağları (Wireless Body Area Networks)
LQE-SAE	Yığılmış Otomatik Kodlayıcı Tabanlı Bağlantı Kalitesi Tahmincisi (Stacked Autoencoder-Based Link Quality Estimator)
MAC	Ortam Erişim Kontrolü (Medium Access Control)
MAP	Yönetim Erişim Fazı (Management Access Phase)
MEMS	Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (Microelectromechanical systems)
OLSR	Optimize Edilmiş Bağlantı Durumu Yönlendirme protokolü (Optimized Link State Routing Protocol)
OSI	Açık Sistem Bağlantıları (Open Systems Interconnections)
QoS	Hizmet Kalitesi (Quality of Service)
RAM	Rastgele Erişimli Bellek (Random Access Memory)
RAP	Rastgele Erişim Fazı (Random Access Phase)
RREP	Rota Cevabı (Route Response)
RREQ	Rota Talebi (Route Request)
RSSI	Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indicator)
SAE	Sistem Mimarisi Evrimi (System Architecture Evolution)
SAR	Özgül Emilim Oranı (Specific Absorption Rate)
SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
SF	Süper Çerçeve (Superframe)
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network)

## SİMGELER

W	Güç
s	Saniye
$\Sigma$	Toplam
t	Zaman



## ÖZET

# IEEE 802.15.6 TABANLI KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI ARASINDA COĞRAFI YÖNLENDİRME ALGORİTMASI TASARIMI VE BENZETİMİ

Seda SAVAŞCI ŞEN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Aralık 2020, 65 sayfa

Uzaktan sağlık izleme sistemlerine olan ihtiyaç özellikle pandemi süreçlerinde daha da artmaktadır. İnsan vücudu üzerine ya da çevresine konumlandırılacak algılayıcı özelliğe sahip kablolu/kablosuz elektronik aygıtlar sayesinde anlık olarak bireylerin sağlık bilgilerinin uzak bilgisayarlara veya kişilere taşınması sağlanmaktadır. Bu sayede özellikle karantinada olan insanların sağlıkları hakkındaki bilgiler toplanıp teşhis ve tedavi süreçlerinde kullanılabilir. Algılayıcı/eyleyici düğümlerden gelen veriler bir koordinatör düğüm tarafından toplanarak kontrol edilmektedir. Bu haberleşme protokolü IEEE 802.15.6 standardıyla anılmaktadır ve Endüstriyel Bilimsel Tıbbi (ISM) bandında kullanılabilir. Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA) olarak bilinen bu ağlar aslında hastalıkların erken tespiti, yaşlıların gerçek zamanlı hasta takibi vb. için kullanılabilen geleneksel Kablosuz Algılayıcı Ağlarının (KAA) bir alt dalıdır. Sağlık alanında kullanılan KVAA'lar bireyden toplanan hayati verilerin en kısa sürede ve en az gecikme ile gerekli birimlere yönlendirecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu tez çalışmasında KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 protokolü kullanılmıştır. Ayrıca KVAA-arası haberleşme için coğrafi tabanlı bir yönlendirme algoritması tasarlanmıştır. Coğrafi yönlendirme, coğrafi konum bilgisine dayanan bir yönlendirme şeklidir. Kablosuz ağlar için önerilen bu yaklaşım kaynağın ağ adresini kullanmak yerine hedefin coğrafi konumuna bir mesaj göndermesi fikrine dayanmaktadır. Bu çalışmada, tüm protokoller ve algoritmalar Riverbed (OPNET) Modeller benzetim programında geliştirilmiştir. Çalışmada farklı yoğunluk ve önceliklere sahip senaryolar için gecikme ve iş çıkarım oranları incelenmiş ve tasarlanan algoritma iç mekanda olması durumu için de AODV algoritması ile iletim sağlanan bir yapı tasarlanmıştır. Toplanan veriler socket programlama yardımıyla nesnelerin interneti yazılımları olan InfluxDB veri tabanına Node-RED ile kaydedilerek Grafana arayüzünde görselleştirilmiştir. Bu sayede pandemi gibi olağanüstü durumlarında kontrol altında tutulması gereken maske takma durumu, en yakın kişiye uzaklık, kan basıncı, kalp atış hızı, oksijenlenme miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum sayısı gibi önemli parametrelerin gerçek zamanlı olarak takip edilebilmesi sağlanmıştır. IEEE/ISO 11073 kişisel sağlık veri standardının tanımladığı servis kalite gereksinimleri temel alındığında, KVAA için tasarlanan coğrafi yönlendirme algoritmasında iki farklı yoğunluğa sahip senaryo için elde edilen sonuçlara göre, kullanıcı yoğunluğu arttığı için gecikme sürelerinin arttığı ve iş çıkarım oranının bir miktar düştüğü saptanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Coğrafi tabanlı yönlendirme, IEEE 802.15.6 protokolü, Kablosuz vücut alan ağları, Nesnelerin interneti, Uzaktan sağlık izleme.

## ABSTRACT

### DESIGN AND SIMULATION OF GEOGRAPHICAL ROUTING ALGORITHM BETWEEN IEEE 802.15.6 BASED WIRELESS BODY AREA NETWORKS

Seda SAVAŞCI ŞEN

Düzce University

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

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Ali ÇALHAN

December 2020, 65 pages

The need for remote health monitoring systems is rising especially in pandemic conditions. Thanks to the wired / wireless electronic devices with the sensor feature to be positioned on or around the human body, it is ensured that individuals' health information is transmitted to remote computers or people instantly. In this way, information about the health of people in quarantine can be collected and used in diagnosis and treatment processes. Data from sensor / actuator nodes are collected and controlled by a coordinator node. This communication protocol is referred to as the IEEE 802.15.6 standard and can be used in the ISM band. Networks known as Wireless Body Area Networks (WBANs) are actually a sub-branch of traditional Wireless Sensor Networks (WSNs) that can be used for early detection of various diseases, real-time patient monitoring of the elderly, etc. WBANs used in the field of health are designed to transmit the collected vital data collected from the individual to the necessary units as soon as possible and with the least delay. In this thesis, IEEE 802.15.6 protocol is used and geographical based routing algorithm is designed for inter-WBAN communications. Geographical routing is a form of routing based on geolocation information. It is mainly recommended for wireless networks and is based on the idea that the source sends a message to the geographic location of the destination rather than using the network address. According to our study, all protocols and algorithms are developed in Riverbed (OPNET) Modeler simulation program. In the study, latency and throughput rates for scenarios with different intensity and priorities were examined and the designed algorithm was compared with the AODV algorithm. The collected data was recorded with Node-RED in the InfluxDB database, with socket programming interfaces, and visualized in the Grafana interface as Internet of Things software. The surveillance system interface designed in Grafana provide an opportunity to simultaneous control of parameters such as wearing a mask, distance to the nearest person, blood pressure, heart rate, oxygen saturation, body temperature and respiratory rate, which should be kept under control especially in pandemic situations. According to the results, based on the service quality requirements defined by the IEEE / ISO 11073 personal health data standard, it was determined that the geographic routing algorithm designed for WBAN increased the latency times and slightly decreased throughput rate due to increase in user density.

**Keywords:** Geographical based routing, IEEE 802.15.6 protocol, Internet of things, Remote health monitoring, Wireless body area networks.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Dünya genelinde yaşayan 60 yaş üzerinde yaklaşık 650 milyon olan kişi sayısının, 2050 yılında 2 milyarı aşması beklendiğini açıklayan Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ülkelerde sağlık çalışanlarının ve sivil toplumun bu gelişmeye uyum sağlayacak bazı çalışmaları şimdiden başlatması gerektiğine dikkat çekmektedir. Yaşlanan ve gelir seviyesi yükselen dünya nüfusunun tıbbi ihtiyaçları da değişmektedir. Yaşlanan nüfusla birlikte, kalp hastalıkları diyabet gibi sürekli kontrol altında tutulması gereken hastalıklar yaygınlaşmaktadır. Özel ihtiyaç piyasasının bir diğer önemli bölümünü engelli insanlar oluşturmaktadır. Dünya çapında 650 milyondan fazla engelli bulunmaktadır [1]. Hastanelerin kapasitesi bu ihtiyacı karşılayacak hızda artmadığı için, alternatif teknikler araştırılmaktadır. Bunlardan biri hastanın internet ve kablosuz iletişim yöntemleri kullanılarak evinden takip edilmesidir. Bu da kablosuz teknolojiler arasında, tıbbi kullanım odaklı bir teknolojinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojileri, algılayıcı/eyleyici tasarımları ve uzaktan sağlık izleme sistemlerinin bir araya getirilmesi ile birlikte Kablosuz Vücut Alan Ağları mimarisi doğmuştur. İnsan üzerine yerleştirilen algılayıcılar sayesinde kişinin sağlık verileri ve çevresi hakkında bilgiler düğümler sayesinde ölçülüp uzak bilgisayarlara gönderilmekte ve uzaktan izleme sistemlerinin en önemli parçası olmaktadır.

Yönlendirme işlemi (Routing), farklı ağların birbirleriyle haberleşmek için hangi yolu kullanması gerektiğinin hesaplanarak seçilmesi işlemidir. Bu çalışmada KVAA için coğrafi yönlendirme algoritması kullanılmıştır. Coğrafi yönlendirme, her düğümün kendi konumunu belirleyebilmesini ve kaynağın hedefin konumunun farkında olmasını gerektirmektedir. Bu bilgilerle, ağ topolojisi veya önceden bir rota keşfi hakkında bilgi sahibi olmadan bir mesaj hedefe yönlendirilebilmektedir.

Coğrafi yönlendirme protokolleri, topoloji depolamasına ve ilişkili maliyetlere bağımlılığı ortadan kaldırır, bu da onları kablosuz tasarsız ağlarda sıklıkla bulunan dinamik davranışları işlemek için daha uygun hale getirir. Coğrafi yönlendirme

protokolleri, hareketlilik tahmini ve yönetiminden anonim yönlendirmeye ve enerji verimliliğinden QoS'ye kadar çeşitli uygulamalar için tasarlanmıştır. Coğrafi yönlendirme, yönlendirme kararları vermek için konum verilerinin kullanılması nedeniyle bağlam farkındalığının daha geniş bir alanının bir parçasıdır ve bu nedenle her yerde bilgi işlem yolunda önemli bir adımı temsil eder [2].

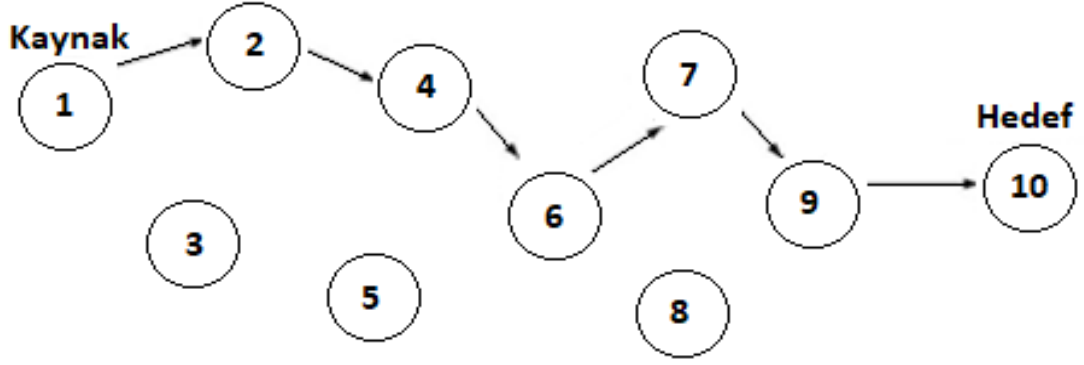
## 1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde KVAA ve Coğrafi Tabanlı Yönlendirme ile ilgili ayrı ayrı birçok çalışma bulunmasına rağmen, IEEE 802.15.6 protokolü tabanlı KVAA için Coğrafi Yönlendirme konusunu ele alan çok az çalışma olduğu görülmüştür. Coğrafi yönlendirme konusunda ilk öneriler, Açgözlü Yönlendirme (Greedy Routing) ve Yüz Yönlendirme (Face Routing) algoritmaları olmuştur. Bu iki algoritma birlikte daha sonraki birçok yaklaşımın temelini oluşturmuşlardır.

Açgözlü yönlendirme, paketlerin hedefe en yakın olan komşuya iletiildiği basit bir coğrafi yönlendirme şeklidir. Açgözlü yönlendirme hem anlaşılması ve uygulanması basittir hem de verimlidir. Ancak, açgözlü yönlendirmenin önemli bir dezavantajı vardır; bir düğüm hedefe kendisinden daha yakın bir komşu bulamadığında, paketi yok eder [3].

Paketin teslimatını garanti eden ilk coğrafi yönlendirme algoritması Kranakis vd. [3]'de Pusula Yönlendirme II (Compass Routing II) olarak adlandırılan Yüz Yönlendirme Algoritmasıdır. Yüz Yönlendirme, kaynağı ve hedefi bağlayan yol boyunca ilerlemektedir. Bu çalışmada kaynaktan çıkan verinin hedefe ulaşacağını garanti etmişlerdir.

Coğrafi yönlendirme, herhangi bir yönlendirme tablosu olmadan çalışmaktadır. Ayrıca, hedefin konumu bilindiğinden, her düğümün yalnızca doğrudan komşularını takip etmesi gerekir [4]. Yönlendirme tablolarının güncel olarak tutulmasının gerekmemesi ve uzakta meydana gelen topoloji değişikliklerinden bağımsız olması nedeniyle kullanım kolaylığı sağlar. Şekil 1.1'de görüleceği üzere kaynaktan hedefe giden bazı yollar diğer yollardan daha kısa olabilmektedir.



Şekil 1.1. KAA'larda veri iletim örneği.

En yaygın olarak bilinen coğrafi yönlendirme protokolü, ilk olarak Karp ve Kung [5] tarafından önerilen kablosuz algılayıcı ağları için Açgözlü Çevre Durumsuz Yönlendirme (GPSR) algoritmasıdır. GPSR algoritmasında paketleri iletmek için açgözlü yönlendirme ve çevre yönlendirme olmak üzere iki yöntemden oluşan bir yapı tasarlanmıştır. Açgözlü yönlendirmede, kaynak düğüm paketi hedefe en yakın olan komşulara (ve kaynak düğümünden en uzak olana) iletmektedir. Bu, her düğümün sadece yakın komşularının adreslerini ve koordinatlarını bilmesi gerektiği anlamına gelir, bu nedenle yönlendirme tablosu boyutu ağın yoğunluğuna ve bir bütün olarak ağın boyutlarına bağlı olmaktadır. Açgözlü yönlendirme mümkün olmadığında ve paket hedefine ulaşmadığında, yani düğüm ve hedef arasında bir boşluk olduğunda, boşluk boyunca hareket etmek için çevre yönlendirme gerçekleştirilir [6]. GPSR protokolünün coğrafi koordinatların yaygın kullanımı nedeniyle DSR protokolünün daha düşük atlama sayısı olan yolları seçtiği gösterilmiştir. Ayrıca, düğüm sayısı 100'ün üzerine çıktığında elde edilen iş hacmini artırdığını ve coğrafi yönlendirmenin ölçeklenebilirlik özelliği olduğunu kanıtlamaktadır [6].

Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü (DSR), mevcut ağ altyapısına veya yönetimine gerek kalmadan ağın tamamen kendi kendini yönetmesini ve yapılandırmasını sağlamaktadır. Johnson ve Maltz'ın çalışmasındaki bu protokolde, düğümlerin geçici ağdaki keyfi hedefleri ve kaynak yolları keşfedeceği bir yapı önermişlerdir. Bu kaynak yollar iletimin sürdürülmesi için birlikte çalışan iki rota bulmak için çalışmaktadır [7]. Kaynak yönlendirmenin kullanılması, paket yönlendirmenin döngüden bağımsız olmasını sağlamıştır. Bundan dolayı paketlerin iletiildiği ara düğümlerde güncel yönlendirme bilgisine ihtiyaç duyulmamıştır.

Coğrafi yönlendirme protokollerinin çoğunda Liu vd. [8] tarafından önerilen Izgara Konum Hizmeti gibi bir tür konum hizmetinden yararlanılmıştır. Bu da hedeflerinin konumlarını dağıtılmış bir şekilde belirlemelerine olanak tanımaktadır. Konum hizmetleri, belirli düğümlerin (genel olarak sabit bir coğrafi bölgedeki konumların) konumlarını almaktan ve depolamaktan sorumlu olan konum sunucuları olarak adlandırılan düğümlerden oluşmuştur. Bir kaynak düğüm bir hedefin konumunu bulmak istediğinde, bu konum sunucularını sorgulayarak iletimi devam ettirmektedir.

Önerilen tüm coğrafi yönlendirme algoritmalarının doğruluğu, radyolar ve bunların sonuçta ortaya çıkan bağlantı grafikleri hakkında ideal varsayımlara dayanmaktadır. Bu idealize edilmiş varsayımların gerçek radyolar tarafından büyük ölçüde ihlal edildiği için statik topolojilerde bile coğrafi tabanlı yönlendirmede kalıcı arızalara neden olmaktadır. Bu soruna çözüm olarak, Leong vd. keyfi bağlantı grafiklerinde coğrafi olarak doğru yönlendirmeyi sağlayan Çapraz Bağlantı Algılama Protokolü'nü (CLDP) önermiştir [9]. CLDP'nin pratik, her zaman gerçek, statik kablosuz ağlarda başarılı ve topoloji değiştikten sonra hızlı bir şekilde sonuca ulaşabildiğini göstermişlerdir.

Leong vd. [10] tarafından yüz yönlendirmesine alternatif olarak önerilen düzlemselleştirme algoritmaları yerine yayılan ağaçların kullanıldığı Açgözlü Dağıtılmış Kapsama Ağacı Yönlendirme (GDSTR) algoritması önerilmiştir. Ana düğümlerin tüm alt düğümler hakkında bilgileri dışbükey bir gövdede sakladığı, gövde ağacı olarak bilinen bir yayılma ağacı biçimi kullanılmıştır. Bunun amacını, GDSTR yalnızca hedef noktaları içeren dışbükey gövdeli düğümleri içeren bir alt ağaçtan geçebildiğinden, geçilmesi gereken ağaç sayısını azaltmak olarak ifade etmişlerdir. Çoğu yedekleme şemasında olduğu gibi, protokol yerel maksimumla karşılaşıldığında genişleyen bir ağaç algoritmasına geçmeden önce açgözlü yönlendirmeyle iletme başlayan daha spesifik olarak GDSTR açgözlü ağaç gövdesinden gövde moduna geçtiğinde, paket ya ana düğüme gönderilen veya en az bir alt düğüm içeriyorsa uygun bir alt düğüme gönderilen bir yapı tasarlanmıştır.

Shi ve Liu [11] çalışmalarında, mobil geçici ağlar için, temel bir mod ve isteğe bağlı bir mod içeren, “Çekişme Tabanlı İşaretsiz Coğrafi Yönlendirme” (CBGR) protokolü önermişlerdir. Temel modda, yukarı akış düğümünden bir veri paketi alırken, yönlendirme alanındaki ara düğümler, yukarı akış düğümü ve hedef düğümle göreceli konumuna göre hesaplanan dinamik bir yönlendirme gecikmesini (DFD) bekleyerek iletmeyi sağladığını göstermişlerdir. Bu yapıda minimum DFD'ye sahip ara düğüm ilk

olarak veri paketini iletir ve diğerk düğümle aynı veri paketi için planlanan iletimini paket iletimini aşırı işleyerek iptal ederek isteğe bağılı modda, yukarı akış düğümü, aralarındaki iletişim bağlantısı geçerli olduğı sürece, belirtilen aşığı akış düğümüne veri paketleri gönderebilmiştir. Doğru düğüm tahmin şeması, üst düğüm ve alt düğümün konum ve hareketlilik bilgilerine göre geçerli zamanı hesaplamak için kullanılmıştır.

Enerji tüketimiyle ilgili Yang vd. tarafından “Coğrafi ve Enerjiye Duyarlı Yönlendirme” (GEAR) önerilmiştir [12]. GEAR'da konumu dışında her komşu için öğrenilen maliyet fonksiyonunun değerini dikkate alarak kararlaştırılmıştır. Bu “öğrenilen maliyet” fonksiyonu, her bir düğümün kalan enerjisini yansıtarak komşular arasında daha iyi yük dengelemesine olanak tanımıştır. Bu, her düğümün komşularını kalan enerjisinin seviyesi hakkında periyodik olarak bilgilendirme ihtiyacını ortaya koymuştur. Ancak bu durum algılayıcı düğümde karmaşıklığa sebep olmuştur. Bekleme kurallarını değıştiren algoritma, paketi tek hedeflere yönlendirmek için kullanılabilmiştir. Bu yaklaşım, coğrafi olarak yönlendirilen algılayıcı ağlarına kümeleme mimarilerinin bir uygulaması olarak düşünülebilir. Bu amaçla, bilgisayar simülasyonları kullanarak (ns2 simülatöründe) GEAR'ın belirli koşullarda GPS ömrüyle karşılaştırıldığında ağ ömrünü% 30'a kadar uzattığı gösterilmiştir.

Yoğun algılayıcı ağlarında mobilite desteğini daha da artırmak için, ‘Kör Coğrafi Yönlendirme’ (BGR) adı verilen başka bir coğrafi yönlendirme algoritması önerilmiştir [13]. Topoloji bilgisi kullanmamasına rağmen, her bir düğümde konumlarına bağılı olarak ayarlanan zamanlayıcıların uygulanması ile çalışmaktadır. BGR topolojisi hızla değıştiğinde veya kablosuz iletişimin güvenilir olmadığı durumlarda çok kullanışlı olan topoloji bilgilerine dayanmayan bir yönlendirme çeşidi olarak çalışmaktadır. Bir paketin her iletilmesi gerektiğinde, bir iletim alanına yayınlanan ve bu alandaki tüm düğümler hedeften uzaklıklarına göre bir zamanlayıcı hesaplanan bir yapıya sahiptir. Zamanlayıcısı süresi dolan düğüm, paketi iletir. Yönlendirme alanı, içindeki tüm düğümlerin birbirleriyle iletişim kurabilecek kadar küçük ve yeterli sayıda düğüm içerebilecek kadar büyük olmalıdır. Bir düğüm paketi iletildiğinde, yerel bir minimum durumunda açgözlü yönlendirme başarısız olduğundan, teslimatı garanti edemediğı için bir kurtarma stratejisi ile desteklenmelidir.

Zhou vd. tarafından önerilen coğrafi tabanlı alanlar arası yönlendirme (GIDR) protokolü, coğrafi yönlendirmede paket yönlendirme şeması ve kümeleme tekniğini kullanarak büyük ağlarda ölçeklenebilirlik ve verimlilik sağlamıştır [14]. Dağıtılmış kümeleme

algoritması her etki alanı içinde bir küme başlığı (CH) seçerek bağlantılarını, üyelerini ve etki alanı bilgilerini komşularına ve ağın geri kalanına bildirdiği bir yapı tasarlanmıştır.

Coğrafi bilgiye dayalı olarak yönlendirme yapmak için her bir düğümün coğrafi konumunun farkında olması ve komşularını bilgilendirmesi gerekmektedir. Her ne kadar basit çözüm her düğümü bir Global Konumlandırma Sistemi (GPS) cihazı ile donatmak olsa da, algılayıcı düğümünün maliyetini ve boyutunu arttırmaktadır. Uygulamanın yürütülmesi için bu gerekli olmadığında, bu dezavantajın üstesinden gelmek için yerleştirme algoritmaları tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çapa olarak birkaç düğümü kullanarak düğümlerin konumunun hesaplanmasına izin verilen bu algoritmalar, bant genişliği ve iletim kaynaklarını tüketen algılayıcı düğümleri arasında mesaj alışverişi ve işbirliği gerektirmesine rağmen, toplam maliyet GPS cihazından önemli ölçüde daha düşük olduğu tespit edilmiştir [6].

Kritik ve acil durum senaryolarında farklı kablosuz teknolojileri kullanırken çok sekmeli yönlendirme protokollerinin performansını değerlendirilmiştir. Gerçekçi bir mobilite modeli, mobil geçici, coğrafi tabanlı ve veri merkezli yönlendirme protokolleri farklı iletişim teknolojileriyle değerlendirilmiştir. Konum bilgilerinin kullanılamaması durumunda en iyi kombinasyon KVAA IEEE 802.15.6 ile gradyan tabanlı yönlendirme protokolü olduğu sonucuna ulaşılmıştır [15].

Almobaideen vd. en yakın sağlık merkezleriyle hizmet verilen coğrafi yol haritalarının oluşturulmasında Mobil Turist için Coğrafi Yönlendirme (GRMT) olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım önermiştir [16]. Çalışmanın amacı en iyi hizmet verilen tıp merkezine mümkün olan en kısa yoldan geçen bir rota seçmektir. Çalışmanın sonuçları GRMT'nin turistlerin, seçilen rota biraz daha uzun olmasına rağmen, en yakın sayıda tıp merkezi ile servis edilen coğrafi rotaları seçmesine izin verdiğini göstermiştir. Çalışmanın sonuçlarında acil bir durum ortaya çıktığında turistlerin hızla yakın bir sağlık merkezine yönlendirilmelerini sağladığı görülmüştür.

[17] VANET (Vehicular Ad Hoc Network) için bağlantı tahminine dayalı dinamik kümeleme modeli önerilmiştir. Bir araç düğümünün özelliklerine ve araç düğümleri arasındaki göreceli özelliklere göre bir bağlantı tahmin yöntemi sunulup ardından, araç düğümleri ve araç düğümü yoğunluğu arasındaki bağlantıya dayalı dinamik bir kümeleme modeli formüle edilmiştir. Son olarak, araç düğümleri arasında istikrarlı iletişim sağlamak için dinamik bir kümeleme modeline dayalı yönlendirme yöntemi önerilmiştir.

Önerilen bağlantı tahmin yöntemi ile konumlara ve çok katmanlı algılamaya dayalı coğrafi yönlendirmeden daha düşük hata oranına ulaşabileceği gösterilmiştir.

KVAA'lar insan vücudunun çeşitli fizyolojik parametrelerini algılayan hafif, giyilebilir veya vücut içine yerleştirilebilen algılayıcı düğümlerinden oluşan kablosuz bir ağıdır. Konumlandırma doğruluğu ve konumlandırma oranı işaret düğümü sayısına bağlıdır ve işaret düğümü sayısının artması ağ maliyetlerini ve enerji tüketimini artırır. Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) tabanlı 3D giyilebilir çok düğümlü konumlandırma algoritması, mesafeye bağlı dağıtılmış konumlandırma algoritmasıdır [18]. Bu algılamada ortak düğüm, iki aşamalı konumlandırma işlemi sırasında mesafeyi elde etmek için RSSI sıralama yöntemini kullanılmıştır. Daha sonra kendi hesaplamasını gerçekleştirmek için üç boyutlu çok taraflı konumlandırma yöntemini kullanılmıştır.

Birçok coğrafi yönlendirme iki öğeden oluşur: birincisinde açgözlü yönlendirme şeması mümkün olduğunca uzun süre kullanılmaktadır. Bir yedekleme şeması, yerel minimum nedeniyle açgözlü yönlendirme başarısız olduğunda görevleri sürdürmektedir. Boşlukların sınırını tespit eden ve daha sonra sınır dışbükey gövdesindeki bir düğümün röle düğümü olarak seçildiği yeni bir boşluk işleme yaklaşımı önerilmektedir [19]. Geçiş düğümü bilgisiyle, kaynaktan gelen paketler daha az atlama sayısı ile yol oluşturmak için boşluğun etrafında çalışmaktadır. Çalışmadaki bu algoritma çeşitli metriklerde klasik coğrafi yönlendirme ile karşılaştırıldığında GPSR'sinden daha iyi performans göstermiştir.

[20]'da Kablosuz Vücut Alan Ağı'nın enerji problemini ortadan kaldırmak için enerji hasadı ünitesi geliştirilmiştir. Piezoelektrik malzeme ve peltierden oluşan bu ünite enerji ihtiyacını karşılamaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarında, etkin bağlantı kalitesi tahmini, topoloji yönetimi ve yönlendirme kontrolünün temelidir. Etkili bağlantı kalitesi tahmini, veri iletimini garanti edebilen aynı zamanda verim oranını artırabilen ve böylece tüm ağın ömrünü uzatabilen bir yapıya sahiptir. Önerilen sıfır doldurma yöntemi, orijinal eksik bağlantı bilgilerinin işlenmesi için geliştirilmiştir [21]. Sistem Mimarisi Evrimi (SAE) modeli, alınan sinyal gücü göstergesinden, bağlantı kalitesi göstergesinden ve sinyal-gürültü oranından yukarı bağlantı ve aşağı bağlantıların asimmetrik özelliklerini çıkarmak için kullanılmıştır.

Aynı kanalı kullanan KVAA, aynı anda süper çerçeveleri (SF) iletirken, birbirlerine müdahale ederler. [22]'de önerilen yöntemle, her bir KVAA'nın SF'sini dağıtılmış bir

şekilde gönderdiği zamanlamayı dağıtarak KVAA arası etkileşimi önlenmiştir. SF'deki çekişmesiz bir dönemin konumu tanımlandığı için dönemdeki zaman dilimleri, bir arada var olan KVAA'ların SF'lerindeki hiçbir zaman dilimi ile çakışmadığını göstermiştir. Çizelge 1.1'de, bu konuda literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Çizelge 1.1. Literatürdeki diğer çalışmalar.

Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Konulu Çeşitli Araştırmalar	Öneriler	Kaynaklar
Konum Bilgisi Olmadan Coğrafi Yönlendirme	Sanal Koordinatların oluşturulması	[23]
Yüksek Dinamik Havacılık Ağları için Coğrafi Yönlendirme Protokolü	AeroRP yönlendirme protokolü	[24]
Konum Hizmeti ile Coğrafi Yönlendirme	LoDiS ile LAROD değerlendirmesi	[25]
Kablosuz Vücut Alanı Ağlarında QoS tabanlı yönlendirmenin anket ve sınıflandırma	Markov zincirine dayalı analitik bir model	[26]
Kablosuz Vücut Alan Ağlarında Yönlendirme Protokollerinin İncelenmesi	KAA'lar için BAN'larda gerekli olan mevcut yönlendirme protokollerinin karşılaştırması	[27]
Enerji Hasadıyla KVAA'da Toplam Verimi En Üst Düzeye Çıkarılmak için Çok Noktalı Kablosuz Bilgi ve Güç Aktarımı	Çok noktalı bir KVAA (MP-KVAA) bir zaman anahtarlama (TS) stratejisi ve bir hibrit TS ve güç bölme (PS) stratejisi dahil olmak üzere iki farklı protokol	[28]
Taktik Ağ için Hareketlilik Modelinin Hareketlilik Ölçütlerine Dayalı Sınıflandırılması ve Analizi	Temel olarak hareketlilik ölçütleri açısından hareketlilik modelinin araştırılması ve sınıflandırılması	[29]
Vücut Alanı Ağı İletişimi için Enerjiye Duyarlı Eşleme Yönlendirme Protokolü	İletişimin daha güvenilir ve enerji açısından daha verimli olması	[30]
KVAA'da Enerji Verimli Yönlendirmenin Karşılaştırmalı Analizi	Kablosuz Vücut Alanı Ağının (KVAA) çeşitli yönlendirme tekniklerinin karşılaştırılması	[31]

### 1.3. TEZ ORGANİZASYONU

Tez çalışması aşağıda verilen bölümler şeklinde organize edilmiştir. Birinci bölümde, KVAA ve Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Algoritması 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, Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Algoritması hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, geliştirilen KVAA için Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Algoritmasının mimarisi ile önerilen algoritmalar ve kullanılan benzetim programı hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. KVAA için Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Algoritmasının mimarisinde kullanılan IEEE 802.15.6 standardı, algoritmaların çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Beşinci bölümde, KVAA mimarisi için geliştirilen algoritmada KVAA-içi yönlendirme protokolü, KVAA-arası coğrafi tabanlı yönlendirme algoritmasının örnek senaryolar üzerinden gerçekleştirilen ağ başarımlarını değerlendirmeleri (iş çıkarma oranı ve gecikme) sunulmuştur. GPS sisteminin çalışmadığı iç ortamlar için coğrafi yönlendirme yerine kullanılacak AODV yönlendirme algoritması da Riverbed yazılımında modellenerek başarımların analizi yapılmıştır. Pandemi durumları için coğrafi yönlendirme algoritmasına sahip IoT tabanlı bir KVAA mimarisi tasarlanmıştır. Tasarlanan ağdan toplanan veriler socket programlama ile özellikle pandemi süreci düşünülerek kontrol altında tutulması gereken maske takma durumu, en yakın kişiye uzaklık, kan basıncı, kalp atış hızı, SpO2, vücut sıcaklığı ve solunum sayısı gibi parametrelerle Grafana arayüz programında görselleştirilmiştir. Son olarak coğrafi tabanlı yönlendirme algoritmasının önemi ve alana katkısı vurgulanarak, gelecek çalışmalara ışık tutacak yeni önerilere yer verilmiştir.

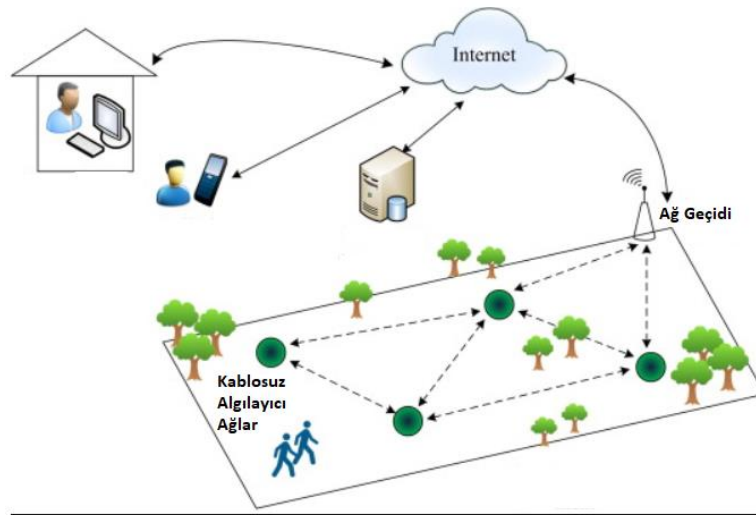
## 2. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA'lar), özellikle akıllı algılayıcıların geliştirilmesini kolaylaştıran Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) teknolojisidir. Bu algılayıcılar küçüktür, sınırlı işleme ve hesaplama kaynaklarına sahiptir ve geleneksel algılayıcılara kıyasla ucuzdur [32]. Genel olarak, bir KAA altyapı gerektirmez veya on ila binlerce arasında değişebilen algılayıcı düğümlerinden oluşan çok az altyapı gerektirir. Ağdaki bu algılayıcıları izlemek amacıyla toplu olarak çalışabilir.

KAA mimarisi, belirli uygulamalara ve senaryolara bağlı kalmak zorundadır. KAA mimarisinin bir alt dalı olan KVAA, daha çok kablosuz takip sistemlerinin tüm gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilen bir teknolojidir.

Kablosuz Vücut Alan Ağı, insan vücudunun sıcaklık, kan basıncı ve EKG gibi farklı yaşamsal belirtilerini izlemek, yönetmek ve iletmek için geliştirilmiş özel bir ağ türüdür. Bu yaşamsal belirtiler kullanılarak giysilere veya vücuda ve hatta insan derisinin altına yerleştirilerek gelen veriler farklı algılayıcılarla izlenebilir. Kan basıncı, vücut sıcaklığı gibi parametreleri kontrol etmenin yanı sıra vücut içine yerleştirilen eyleyiciler yardımıyla herhangi bir ilaç enjekte edilerek hayat kurtarılabilir [33].

KVAA'lar KAA'lardan bazı yönleriyle farklılıkları Çizelge 2.1'de detaylıca belirtilmiştir. Şekil 2.1'de KAA'larda veri iletimi görselleştirilmiştir.



Şekil 2.1. KAA'larda veri iletimi.

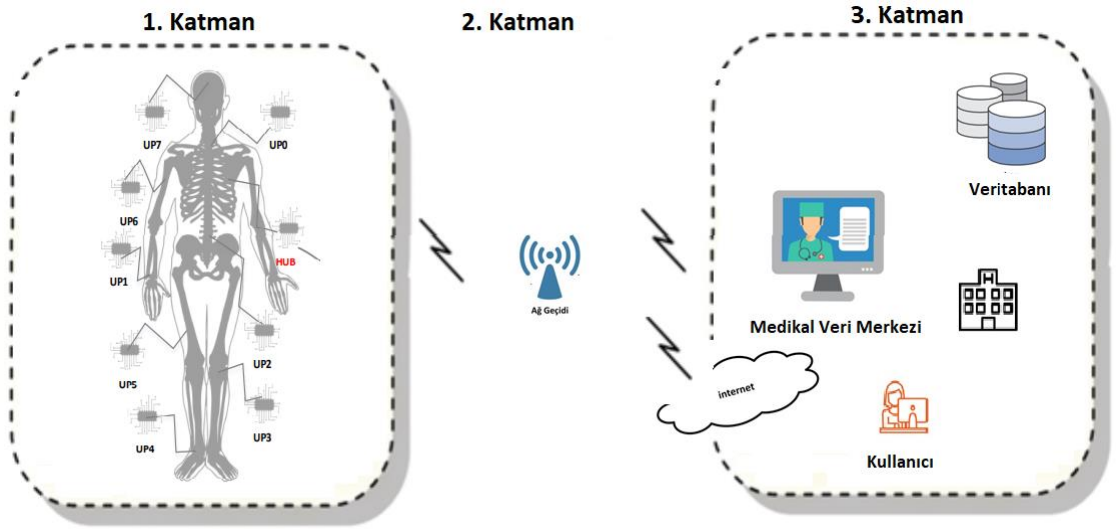
Çizelge 2.1. KAA ile KVAA arasındaki farklar.

Zorluklar	Kablosuz Algılayıcı Ağlar	Kablosuz Vücut Alanı Ağı
Ölçek	İzlenen ortam (metre / kilometre)	İnsan vücudu (santimetre / metre)
Düğüm sayısı	Geniş alan kapsamı için birçok yedek düğüm	Daha az, sınırlı alan
Sonuç doğruluğu	Çok sayıda düğüm doğruluk sağlar	Birkaç düğümün sağlam ve doğru olması gerekir
Düğüm görevleri	Düğüm özel bir görev gerçekleştirir	Düğüm birden çok görevi yerine getirir
Düğüm boyutu	Küçük tercih edilir, ancak önemli değildir	Küçük önemlidir
Ağ topolojisi	Sabit veya statik olma olasılığı çok yüksektir	Vücut hareketi nedeniyle daha değişken
Veri oranları	Çoğu zaman homojen	Çoğu zaman heterojen
İnsan müdahalesi	Çoğu durumda mümkün değil	Bazı durumlarda oldukça kaçınılmaz olabilir.
Düğüm değişimi	Kolayca gerçekleştirilir, düğümler tek kullanımlıdır	Vücut içine yerleştirilen düğümlerin değiştirilmesi zordur
Düğüm ömrü	Birkaç yıl veya ay	Birkaç yıl veya ay, daha küçük pil kapasitesi
Güç kaynağı	Erişilebilir ve kolayca ve sık sık değiştirilebilir	Vücut içine yerleştirilen düğümler erişilemez ve değiştirilmesi zordur.
Güç talebi	Muhtemelen büyük, enerji beslemesi daha kolay	Muhtemelen daha düşük, enerji temini daha zordur.
Enerji süpürücü kaynak	Büyük olasılıkla güneş ve rüzgar enerjisi	Büyük olasılıkla hareket (titreşim) ve termal (vücut ısısı)
Biyoyumluluk	Çoğu uygulamada dikkate alınmaz	Vücut içine ve üzerine yerleştirilen algılayıcılar için bir zorunluluktur.
Veri kaybının etkisi	Yedek düğümler tarafından telafi edilmesi muhtemeldir	Daha önemlisi, QoS ve gerçek zamanlı veri dağıtımını sağlamak için ek önlemler gerektirebilir
Kablosuz teknoloji	Bluetooth, ZigBee, GPRS, WLAN vb.	Düşük güç teknolojisi gerekli
Uygulamadan anahtar yönetimi desteği	Hayır	Evet, rastgele sayılar oluşturmak için algılayıcı düğümlerine gerek yoktur.

## 2.1. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI MİMARİSİ

Dünya çapında kronik hastalıkların önlenmesi, pandemi durumunda uzaktan hasta kontrolü ve tedavisi, engelliler ve yaşlılar gibi özel grupların izlenmesi ve yoğun sağlık sistemi gibi durumlara bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

KVAA Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi üç katmanlı bir yapı ağıdır. Birinci katman vücut yüzeyine takılan veya vücut içine yerleştirilen algılayıcılardan oluşmaktadır. İşlevi, insan vücudu hakkında çeşitli fizyolojik bilgileri toplamak ve iletmektir. İkinci katman akıllı telefonlardan, kişisel bilgisayarlardan veya diğer akıllı elektronik cihazlardan oluşmaktadır. Algılayıcılar tarafından gönderilen bilgileri, kablosuz olarak terminal veri merkezine iletmektedir. KVAA'nın üçüncü katmanında, terminal veri merkezi temel olarak çeşitli uygulamalar sağlayan uzak sunuculardan oluşmaktadır. İşlevi, dinamik bir yanıt sağlamak için alınan verileri harmanlamak ve analiz etmektir.



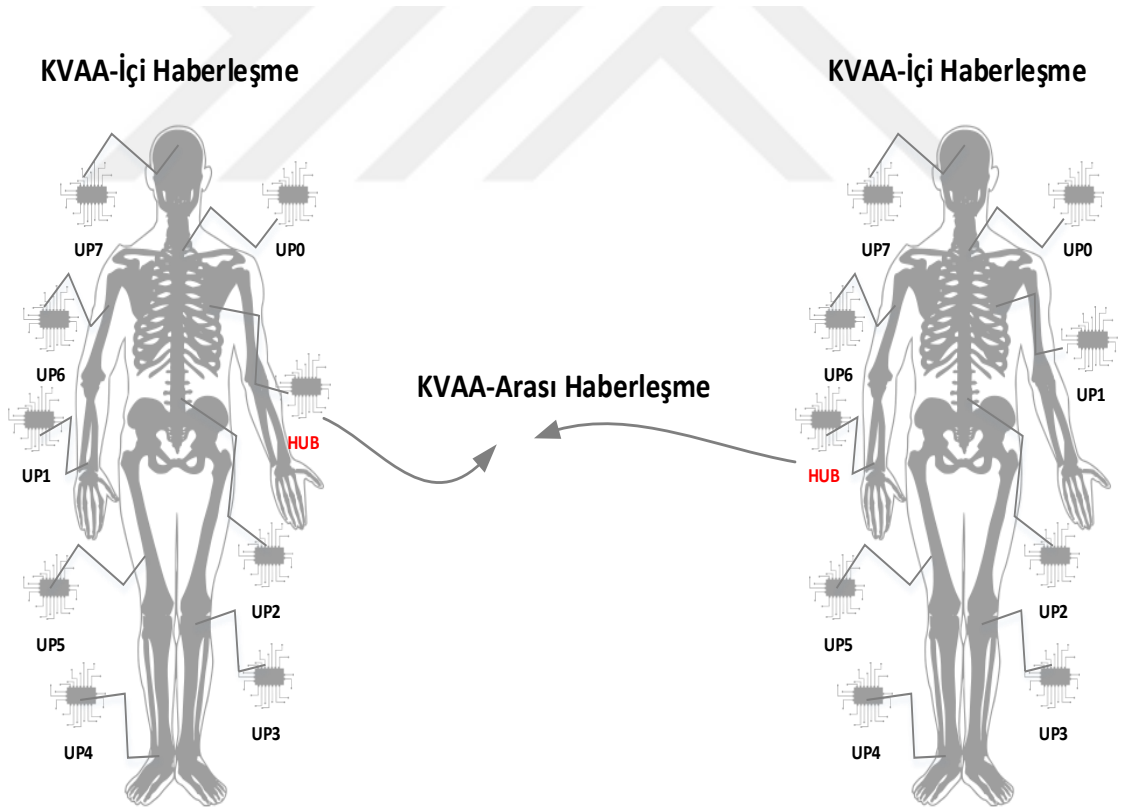
Şekil 2.2. KVAA mimarisinin katmanlı ağ yapısı.

İnsan hatasından kaynaklanan tıbbi kazalar nedeniyle her yıl yaklaşık 98.000 kişi hayatını kaybetmektedir. KVAA, önceki tıbbi kazaların kaydını tutabilir ve aynı kazanın meydana geldiğini bildirebilir ve böylece birçok tıbbi kazayı azaltabilir. KVAA itfaiyeciler, polisler tarafından veya askeri bir ortamda kullanılabilir. KVAA, havadaki zehirli maddelerin seviyesini izler ve hayati tehlike oluşturan bir seviye tespit edilirse itfaiyecileri veya askerleri uyararak itfaiye ekiplerinin sağlık durumları kontrol altında tutulabilir, yangın bölgesi ile ilgili bilgiler haritalanabilir ve yangına uygun şekilde müdahale edilebilir [34]. KVAA ayrıca profesyonel sporcuların antrenman programlarını

kişiyeye özel veriler sunarak daha etkili bir şekilde ayarlamayı sağlamaktadır. Tüm kullanım alanları için algılayıcı düğümü anormal veriler topladığında alarm durumuna geçerek acil durum işlemlerini ve kurtarmayı hızlandırabilmektedir [35].

KVAA mimarisi sekiz farklı önceliğe sahip algılayıcı düğümden ve bunlardan gelen verileri toplayıp ilgili birimlere aktaran bir koordinatör düğümden (HUB) oluşmaktadır. Algılayıcı düğümler bireyin vücut sıcaklığı, nabız, kandaki oksijen miktarı, yorgunluk, hareket, ivme gibi birçok verisini ölçebilecek kabiliyette donatılmışlardır [36]. Birbirleri ile haberleşmeyen fakat aynı 2.4 GHz ISM bandını kullanan bu düğümler ve aynı frekans bandındaki koordinatör düğümü ile haberleşebilmek için Taşıyıcı Sezme Çoklu Erişim / Çarpışma Kaçınma (CSMA/CA) tabanlı ortam erişim kontrolünü kullanarak çalışmaktadırlar [37].

Şekil 2.3’de KVAA-içi ve KVAA-arası haberleşme resmedilmiştir. Koordinatör düğüm farklı önceliklere sahip olan ve algılayıcı düğümlerden gelen verileri önceliklerine göre sıralayarak ilgili birimlere iletmektedir.



Şekil 2.3. KVAA-içi ve KVAA-arası haberleşme.

Öncelik sınıflarına göre koordinatör düğümler topladıkları verileri hedeflerine en az gecikme ile göndermeyi amaçlamaktadır. KVAA-içi haberleşme olarak adlandırılan bu

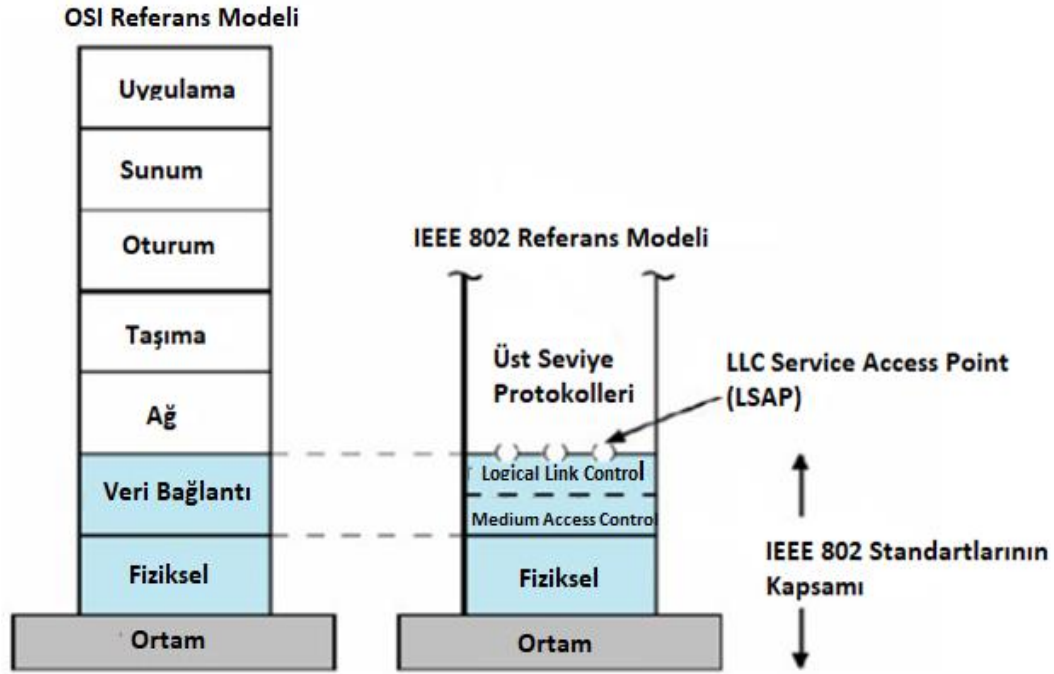
haberleşmede koordinatör düğüm doğrudan ağ geçidine verileri gönderebilmelidir. Kapsama alanı dışında bulunan koordinatör düğümler uzak noktalara verileri gönderebilmek için KVAA-arası haberleşmeyi kullanması gerekmektedir. Bu sebeple koordinatör düğümler birbirleri üzerinden verileri gönderme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu işlem kablolu ve kablosuz ağ sistemlerindeki yönlendirme protokolleri sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede uzaktaki sağlık birimleri, hastane, doktor vs. bireyleri izleyebilmektedir.

Bir insan vücudunun yakınında veya içinde kısa mesafeli kablosuz iletişim IEEE 802.15.6 standardında belirtilmiştir. Ulusal tıbbi ve/veya düzenleyici otoriteler tarafından onaylanan mevcut ISM bantları kullanılmaktadır. Bu standart, hizmet kalitesi (QoS), son derece düşük güç ve 10 Mbps'ye kadar veri hızları için destek verirken, aynı zamanda ihtiyaç duyulan yerlerde parazitsiz bir iletişim ortamı sağlayabilmektedir. IEEE 802.15.6 standardı, dar bant, ultra geniş bant ve insan vücudu iletişim bandı ve genel çerçeve yapısı olmak üzere üç farklı fiziksel katman standardını tanımlar. Bu fiziksel katmanlar arasındaki seçim uygulama gereksinimlerine göre yapılmaktadır.

Düşük güç tüketimi dahil olmak üzere zor KVAA gereksinimlerini karşılamak için güç açısından verimli bir Ortam Erişim Kontrolü (OEK) protokolü gereklidir. OSI modelinin ikinci katmanı olan ve fiziksel bir katman aracılığıyla birbirine bağlı iki düğüm arasında veri çerçevelerinin güvenli bir şekilde iletilmesini amaçlayan veri bağı katmanının bir alt katmanı OEK katmanıdır. IEEE 802 Protokol Katmanları ve OSI Modeli yapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir. OEK katmanı enerji verimliliği sorununu çözmek, hata işleme, kanal erişim kontrolü ve veri çerçeveleme gibi bir takım görevleri içermektedir.

OEK alt katmanı her bir network kartında benzersiz olarak bulunan 48 bitlik MAC adresini kullanılmaktadır. Veri paketinde bulunan kaynak ve hedef MAC adresleri haberleşmenin doğru yapılmasını sağlamaktadır.

OSI referans modeli, ISO tarafından geliştirilen, ağlar arasındaki haberleşmenin özelliklerinin tanımlandığı ve standartlarının belirlendiği bir standarttır. Yedi katmandan oluşan OSI referans modelinde her katmanın görevleri ve bağlantıları tanımlanmıştır. OSI referans modelinden farklı olarak KVAA'larda temelde fiziksel katman, ortam erişim katmanı ve uygulama katmanı olmak üzere sadece üç katmana sahiptir.



Şekil 2.4. IEEE 802 protokol katmanları ve OSI modeli.

Bir KVAA'daki ortak hedeflerden bazıları, maksimum iş hacmi, minimum gecikme sağlamak ve ana enerji sarfiyatı kaynaklarını, yani çarpışma, boşa dinleme ve kontrol paketi ek yükünü kontrol ederek ağ ömrünü uzatmaktır. Aynı anda birden fazla paket veri ilettiğinde bir çarpışma meydana gelir. Çarpışan paketlerin yeniden iletilmesi gerekir, bu da ekstra enerji tüketir. Diğer bir enerji sarfiyatı kaynağı boşa dinlemedir, yani bir düğüm veri almak için boşa bir kanalı dinler.

Veri aktarımı için minimum sayıda kontrol paketi kullanılmalıdır. Ortam Erişim Kontrolü protokolleri, yukarıda bahsedilen sorunların çözümünde önemli bir rol oynar. CSMA / CA protokolleri gibi çekişmeye dayalı OEK protokollerinde, düğümler kanalın veri iletimi için mücadele eder. Kanal meşgulse, düğüm, boşa kalıncaya kadar iletimini erteler. Bu protokoller, katı bir zaman senkronizasyonu kısıtlaması olmaksızın ölçeklenebilir. Ancak, önemli bir protokol yüküne maruz kalırlar [38].

KVAA'ların önemli bir gereksinimi, sistemin enerji verimliliğidir [39]. Ortam erişim denetimi katmanı, enerji verimliliğini ele almak için en uygun katmandır. Bu katman, paylaşılan kablosuz ortama düğüm erişimini koordine etmek için kullanılır. OEK, performansı herhangi bir kablosuz ağda QoS elde etmek için temel oluşturan herhangi bir iletişim protokol yığınının çekirdeğidir. Çok yönlü bir OEK, yüksek seviyeli QoS ile birlikte farklı uygulamaları desteklemektedir. OEK protokolündeki temel görev,

maksimum verimi, minimum gecikmeyi, iletişim güvenilirliğini ve maksimum enerji verimliliğini korurken çarpışmaları ve eşzamanlı iletimleri önlemektir. OEK protokollerini tasarlarırken, düğümlerin arızalara, kısıtlı yeteneklere ve sınırlı enerji kaynaklarına eğilimli olduğu unutulmamalıdır.

## 2.2. KVAA PROTOKOLÜ TASARLAMA ZORLUKLARI

KVAA'nın zorlu gereksinimleri, yönlendirme protokollerinin tasarımı üzerinde bazı kısıtlamalar getirmektedir. Yönlendirme protokolleri, enerji verimliliği, gecikme, verim vb. bakımından ağ performansında önemli bir rol oynar [31]. KVAA için bir yönlendirme protokolü seçmeyi zorlaştıran faktörler;

1. Hareketlilik: Vücudun hareketi nedeniyle ağ topolojisi değiştirilir ve düğümler arasındaki rotalar bozulur. Veri kaybı olasılığı yüksektir.
2. Verimli iletim aralığı: Hatırlatma verisi aralığı eşik değerden düşükse, sonraki algılayıcılar için bir rota seçmeyi zorlaştırır.
3. Hizmet Kalitesi: Vücudun sıradan verilerini iletmesinin yanında EEG, EKG gibi kritik verileri de iletir. Önerilen protokoller bu tip hassas verilerin taşınmasında hassas ve güvenilir olmalıdır.
4. Güvenlik ve Gizlilik: Tasarım protokolü, verilerin yönetimi için güvenli veri etkileşimi ve gizlilik sağlamalıdır.
5. Enerji tüketimi: Sürekli veri algılama ve iletimi ve iletişim düğümleri arasındaki mesafe, daha fazla enerji tüketiminin ana faktörleridir. Düğümler insan vücuduna yerleştirildiği için pil sık sık şarj edilemez veya değiştirilemez.
6. Heterojen Ortam: Farklı düğümler vücuda implante edildiğinden ve her düğüm doğada heterojen olduğundan, bellek ve güç tüketimi birbirinden farklı olur.
7. Çıkarımlar: Çarpışma ve paket kaybı olasılığı daha fazladır. İletişim aralığında olmayan düğümleri tanımanın ve elemanın paketleri hızlı ve eksiksiz iletmek için önemi büyüktür.

## 2.3. IEEE 802.15.6 STANDARDI

IEEE 802.15.6, insan vücudunun içinde ve çevresinde düşük güçlü kablosuz iletişimi destekleyen KVAA standardıdır. IEEE 802.15 çalışma grubu, IEEE 802.15.6 olarak bilinen bir iletişim standardını geliştirmek için 2007 yılında Görev Grubu 6'yı (TG6) kurmuştur. Standardın kurulmasındaki amaç, enerji açısından verimli cihazlar geliştirmek, güvenilir iletişimlere kolaylaştırmak ve KVAA için uygulamalar geliştirmektir. IEEE 802.15.6 standardında öncelikler en yüksek öncelik olan N7'den N0'a doğru kategorize edilmektedir. Sekiz düğümün ürettiği veriler IEEE 802.15.6 sayesinde koordinatör düğümde toplanmakta ve önem sırasına göre sıralanmaktadır. IEEE 802.15.6 standardında belirli bir mesafe aralığında KVAA düğüm sayısının artması paket kayıpları ve parazit problemlerine sebep olmaktadır.

Mevcut IEEE 802.15.6 standardı, Dar Bant (NB), Ultra geniş bant (UWB) ve İnsan Vücudu İletişimi (HBC) katmanları olmak üzere üç katmanı tanımlar. Her fiziksel katmandaki seçim uygulama gereksinimlerine bağlıdır. Üstelik standart, kanala erişimi kontrol eden karmaşık bir OEK protokolünü 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 [40].

KVAA'lar çeşitli hayati bulguların algılayıcılar ile ölçülmesinden ve IEEE 802.15.6 protokolü sayesinde uzak birimlere kablosuz iletilmesinden sorumludur. IEEE 802.15.6 standardına göre, KVAA'larda bir atlama veya iki atlama iletişimine izin verilmektedir.

IEEE 802.15.6 standardı [40], sağlık bakımı ve tıbbi uygulamalar ile diğer tıbbi olmayan uygulamalar için çeşitli hizmetler sağlamak için fiziksel ve OEK katmanlarını tanımlar. IEEE 802.15.6 standardındaki OEK katmanı, düşük karmaşıklık, düşük maliyetli, ultra düşük güç ve oldukça güvenilir bir kablosuz iletişimi desteklemeyi amaçlamaktadır. IEEE 802.15.6 standardı hakkında detaylı bilgilere (IEEE Computer Society, 2012)'den ulaşılabilmektedir [40].

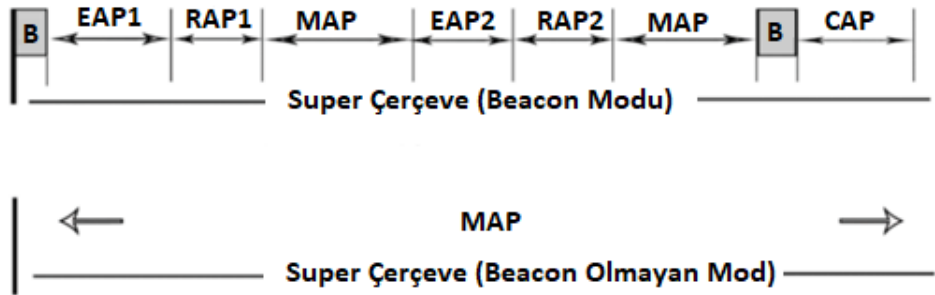
### 2.3.1. IEEE 802.15.6 İletişim Yöntemleri

Kronik hastalıkların erken teşhisi, hem yaşam beklentisinin hem de kalitenin artmasını sağlamak için önemlidir. Bunun için, hastalık belirtilerini ölçme ve analiz etme

yeteneğine sahip ultra düşük güçlü kablosuz vücut içi ve vücut üstü algılayıcılardan oluşan proaktif bir izleme sistemi gereklidir. IEEE 802.15.6 Kablosuz Vücut Alan Ağı standardı, gözlemciye gerçek zamanlı geri bildirim sağlayabilen bu algılayıcılar arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için geliştirilmiştir (Ultra Geniş Bantta 15,6 Mbps'ye ve Dar Bantta 971,4 Kbps'ye kadar veri hızları ile) Bant) [40]. IEEE 802.15.6 KVAA üst çerçevesi genellikle Acil Erişim Aşaması (EAP), Rastgele Erişim Aşaması (RAP) ve Çatışma Erişim Aşaması (CAP) kullanarak süper çerçeve sınırları ile işaret modunda çalışır. Bu aşamaların tümü, kaynak tahsisi için CSMA / CA kullanır. CSMA / CA kullanan birden fazla algılayıcının varlığı, verim, gecikme, erişim gecikmesi ve enerji tüketimi [41] gibi performans parametreleri açısından birçok tasarım zorluğuna neden olmaktadır.

Zaman referanslı kaynak tahsisleri için, koordinatör zaman eksenini veya kanalı bir dizi süper çerçeveye böler [40]. IEEE 802.15.6 standardında üç erişim yöntemi vardır. Bunlar işaret periyodu süper çerçeve sınırlarına sahip Beacon modu, süper çerçeve sınırları olan işaretli mod ve süper çerçeve sınırları olmayan işaretli moddur. Bu yöntemlerin her birinde, hedeflenen uygulamanın özel gereksinimlerini daha iyi karşılayacak bir süper çerçeve yapısı tanımlanır.

1. Superframe Sınırları ile IEEE 802.15.6 KVAA Beacon Modu
2. Superframe Sınırları ile IEEE 802.15.6 KVAA Beacon Olmayan Mod
3. IEEE 802.15.6 KVAA İşaretsiz Mod, Süper Çerçeve Sınırları Olmadan



Şekil 2.5. IEEE 802.15.6 KVAA süper çerçeve modları.

Süper çerçeve sınırları olan IEEE 802.15.6 KVAA işaretli modu, en yaygın kullanılan süper çerçeve modudur. Şekil 2.5’de görselleştirilen bu modda, süper çerçeve, veri aktarımı için eşit boyutlu yuvalara bölünmektedir. Her süper çerçevedeki maksimum yuvalar 256'dır. Bu modda, süper çerçeve sınırlarını ve her fazın uzunluğunu tanımlamak

için bir süper çerçevenin başlangıcında bir işaret gönderilmektedir. Her süper çerçeve birkaç erişim aşamasına (AP) bölünmüştür. Bunlar; acil erişim aşaması (EAP1, EAP2), rastgele erişim aşaması (RAP1, RAP2), yönetim erişim aşaması (MAP) ve çekişme erişim aşamalarıdır (CAP). EAP, kritik trafiği barındırmak için özel olarak tasarlanmıştır. RAP ve MAP genellikle herhangi bir tür ve öncelikte tekrar etmeyen aktarımlar için kullanılır. MAP, aşağı bağlantı, yukarı bağlantı veya çift bağlantılı kaynak tahsisi için kullanılır. EAP, RAP ve CAP, kaynak tahsisi için CSMA / CA veya oluklu Katkı Bağlantıları Çevrimiçi Hawaii Alanı (ALOHA) kullanılmaktadır. Geleneksel geri çekilme algoritmaları CSMA / CA BEB esas olarak bu modda kullanılmaktadır. Ancak, BEB'de boşa dinleme, süper çerçevenin verimliliğini azaltmaktadır [42].

CAP, çekişme erişimi için kullanılmaktadır. RAP1 dışındaki diğer erişim aşamaları isteğe bağlıdır. CAP erişim aşaması istenmiyorsa, HUB düğümü B2 işaret paketini iletişim ortamına göndermez. EAP1 kullanılacaksa, bu aşama işaret paketinden hemen sonra başlamalıdır. Bu aşama yalnızca acil durum veya tıbbi olay raporları gibi öncelikli düğümler tarafından kullanılabilirken, RAP ve CAP tüm öncelikli düğümler tarafından kullanılabilir [43].

Gerçekçi bir mobilite modeli, mobil geçici, coğrafi tabanlı ve veri merkezli yönlendirme protokollerini farklı iletişim teknolojileriyle değerlendirir (örn. WiFi IEEE 802.11; KAA IEEE 802.15.4; KVAA IEEE 802.15.6). WiFi IEEE 802.11'in paket alım oranı ve enerji tüketimi açısından en iyi kablosuz teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır. Oysa gecikme açısından KVAA IEEE 802.15.6 en verimli olandır. Yönlendirme protokolleri ile ilgili olarak, konum bilgisinin mevcut olduğu varsayılarak, kablosuz bağlantıda IEEE 802.11 ile coğrafi tabanlı yönlendirme protokolü diğer yönlendirme protokollerine göre çok daha iyi performans göstermektedir [31].

### **2.3.2. IEEE 802.15.6 Erişim Mekanizmaları**

IEEE 802.15.6 standardında paylaşılan ortam için çeşitli erişim mekanizmaları tanımlanmıştır. Bunlar rasgele erişim, hazırlıksız ve planlanmamış erişim ile planlı erişimdir [40].

Rastgele erişim tekniğinde (Çekişme bazlı) 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, ultra geniş bant fiziksel katmanları seçilmişse Slotted Aloha çoklu erişim teknikleri kullanılabilir [40].

Burada düğümler veri göndermeden önce koordinatör düğümden bildirim beklemelidir. Planlı erişim (Çekişmesiz) tekniği ise 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 diliminde veri transferlerine başlayabilmektedirler.

#### 2.3.2.1. CSMA/CA Protokolü

Kablosuz yerel alan ağları için IEEE 802.11 protokolü, ortam erişim kontrol tekniği olarak üstel geri çekmeye sahip bir CSMA/CA protokolü kullanır. IEEE 802.15.6 KVAA üst çerçevesi genellikle Acil Erişim Aşaması (EAP), Rastgele Erişim Aşaması (RAP) ve Çatışma Erişim Aşaması (CAP) kullanarak süper çerçeve sınırları ile işaret modu'nda çalışır. Bu aşamaların tümü, kaynak tahsisi için Taşıyıcı Algılama Çoklu Erişim / Çarpışma Önleme (CSMA/CA) kullanır.

Koordinatör düğümüne gönderilecek bir pakete sahip olan düğüm, yeni bir koşullu zaman aralığı için çekişme penceresini ( $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ ) ve geri çekilme sayacını  $[1, CW]$  tutar.  $CW_{min}$  ve  $CW_{max}$  değerleri kullanıcı önceliklerine (UP'ler) göre seçilebilmektedir. En yüksek öncelikli UP'ler, acil durum olaylarını hedefe minimum gecikme ve kayıpla iletmek için kanala erişim olasılığını artıran küçük bir CW değerine sahiptir. Paket göndermek için rekabet eden düğümler, çarpışma olasılığını en aza indirmek için geri çekilme sayacını eşit olarak dağıtılmış bir aralık  $[1, CW]$  üzerinden rastgele bir tamsayı ile ayarlar.

CW'ler, ağ ortamındaki düğümlerin paket iletim durumuna göre değişmektedir. Düğüm daha önce herhangi bir çekişme tahsisi almamışsa, paketini başarıyla iletmeye veya paketi ilettikten sonra ACK onayı gerektirmiyorsa, CW değerinin değerini  $CW_{min}$  değeri olarak ayarlamaktadır. Düğüm, paket iletiminde başarısız olduysa veya ilettiği son paket için ACK onayını almadıysa, CW değeri çift sayıda iletim hatası için iki katına çıkarılırken, CW değeri çift sayıda iletim hatası için ikiye katlanır. CW değeri, CW'nin değerini iki katına çıkararak  $CW_{max}$   $[UP_i]$  değerini aşarsa, düğüm CW'nin değerini  $CW_{min}$ 'e ayarlamaktadır.

## 2.4. ISO/ IEEE 11073 KİŞİSEL SAĞLIK VERİ STANDARDI

Yaşlı nüfusun çarpıcı artışıyla birlikte, sağlık bakımı için birçok kişisel cihaz geliştirildi. Sağlık cihazlarının bireysel gelişimindeki artışa göre, sağlık ölçüm verilerinin toplanması için ISO / IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı oluşturulmuştur. 11073 kişisel sağlık veri standardının amacı, kişisel sağlık cihazları ile sağlık yöneticisi arasında bir tak ve çalıştır gibi birlikte çalışabilirlik sağlamaktır.

ISO / IEEE 11073, fizyolojik bilgi gösterimi ve erişimi için CEN TC 251 VITAL standardını [21] ve ayrıca bir ISO standartları paketini [22] kullanır. Bluetooth alt katmanları, başlangıçta yatak başı cihazları ve yerel hastane ağı arasında tak ve çalıştır işlemi için geliştirilmiş bir standart olan ISO / IEEE 11073'ün bu yerleşik uygulaması için taşıma işlevselliği sağlar.

Pandemi süreci ile ilgili işleyiş; hastalığın tespiti, değerlendirmesi ve tedavisi olarak görülür. Hastalık taşıyabilecek kişileri tespit aşamasında hızlı olarak bulma, değerlendirme aşamasında vakaları kısa sürede test etme, izole etme ve tedavi etmenin büyük önemi vardır [44]. Covid-19 için aşı veya antiviral ajanlar henüz geliştirme aşamasındadır. Tedavinin temel dayanağı, en kritik hastalar için gerekirse yoğun bakım birimlerinde destekleyici bakımdır.

Yakın zamandaki ve devam eden çalışmalar, hasta verilerini bir veri tabanına depolamak, bu verileri internet üzerinden uzak bir veri tabanına aktarmak ve verileri bir gözetim ekranında sunmak ve analiz etmek için araç geliştirmeyi içerir. Bu nedenle, bu cihazların birlikte çalışabilirliğini sağlamaya yönelik bir adım olan ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardı KVAA mimarisinde önemli bir yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, pandemi durumları için belirtilen parametreleri kontrol sistemi niteliğinde bir arayüz programına bağlı coğrafi yönlendirme algoritmasına sahip bir KVAA mimarisi önerilmektedir. Tasarlanan KVAA'dan gelen veriler nesnelerin interneti yazılımları kullanılarak arayüz programına eş zamanlı olarak yansımaktadır. Tüm protokollere ve yönlendirme algoritmasına sahip bu mimari için iki farklı kullanıcı yoğunluğuna sahip senaryo tasarlanmıştır ve elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

### **3. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ**

Coğrafi yönlendirme, coğrafi konum bilgisine dayalı bir yönlendirme şeklidir [45]. İlk olarak kablosuz ağlar için önerilmiştir ve kaynak düğümün ağ adresini kullanmak yerine hedef düğümün coğrafi konumuna bir mesaj göndermesi fikrine dayanmaktadır. Coğrafi yönlendirme, her düğümün kendi konumunu belirleyebilmesini ve kaynak düğümün hedef düğümün konumundan haberdar olmasını gerektirir. Bu sebeple ağ topolojisi veya bir rota keşfi hakkında önceden bilgi sahibi olmadan hedefe bir mesaj yönlendirebilmektedir.

Coğrafi bilgilere dayalı olarak KVAA'lardaki koordinatör düğümlerde gezinmek için, her koordinatör düğümün coğrafi konumunun farkında olması ve komşularına bilgi vermesi gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında koordinatör düğümler Küresel Konumlama Sistemi (GPS) donanımına sahiptir ve GPS yardımıyla koordinat bilgisi alabilir.

Coğrafi yönlendirme protokolleri, topoloji depolamasına ve ilişkili maliyetlere bağımlılığı ortadan kaldırdığı için, kablosuz geçici ağlarda sıklıkla bulunan dinamik davranışları işlemek için daha uygundur. Coğrafi yönlendirme protokolleri, hareketlilik tahmini ve yönetiminden anonim yönlendirmeye ve enerji verimliliğinden QoS'ye kadar çeşitli uygulamalar için tasarlanmıştır. Coğrafi yönlendirme, yönlendirme kararları vermek için konum verilerinin kullanılması nedeniyle geniş alanda bilgi işleme konusunda önemli bir adımı temsil eder. Genel olarak, Coğrafi tabanlı yönlendirme iki alt sınıfa ayrılabilir: Topoloji Tabanlı Yönlendirme, Konum Tabanlı Yönlendirme

#### **3.1. TOPOLOJİ TABANLI YÖNLENDİRME**

Topolojiye dayalı yönlendirmede, veri iletilmeden önce, kaynak ve hedef arasındaki yol kontrol paketi yoluyla belirlenir. Bu nedenle veri iletiminden önce, ağdaki tüm cihazlar önceden ağ topolojisi hakkında bilgi sahibi olmaktadır. Kaynak herhangi bir aracın veya hedeflenen varış yerinin coğrafi yerini biliyorsa, ağ genelinde arama yapılmasını engelleyebilir ve ayrıca ağın aşırı yoğunlaşmasını önleyebilir.

Topoloji tabanlı yönlendirme ayrıca proaktif, reaktif ve hibrit olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

### **3.1.1. Proaktif Yönlendirme**

Proaktif veya tablo güdümlü yönlendirmede, ağdaki her düğüm, ağ topolojisi hakkında tam bilgi içeren bir tablo tutmaktadır. Yönlendirme tablosunun bakımı her bir düğümün durumunu düzenli olarak yayınlamasına bu sebeple yüksek ağ yüküne neden olmaktadır. Proaktif yönlendirme sürekli yayın güncellemeleri nedeniyle küçük ağlar için uygundur.

Veri gönderildiğinde istenen hedefe giden rota hemen kullanılabilir olması gibi avantajların yanında yönlendirilecek trafik olmadığında bile yönlendirme mesajını gönderdiği için önemli ölçüde bant genişliği tüketimini ve güç tüketimini artırıp ağın aşırı yüklenmesine neden olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ağ başlangıcındaki yoğun rota keşif yayınlarının yol açtığı yakınsama gecikmesi de dikkate değerdir [15].

En yaygın olarak bilinen proaktif yönlendirme protokolleri arasında Optimize Edilmiş Bağlantı Durumu Yönlendirme protokolü (OLSR) ve Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü (DSDV) vardır. Hedef Sıralı Uzaklık Vektör Yönlendirme (DSDV), Bellman-Ford algoritmasına dayalı geçici mobil ağlar için tabloya dayalı bir yönlendirme şemasıdır. Bellman-Ford algoritmasında yapılan iyileştirme, sıra numaralarını kullanarak yönlendirme tablolarındaki döngülerin özgürlüğünü içermektedir.

### **3.1.2. Reaktif Yönlendirme**

Reaktif protokoller topoloji bilgilerinin sürekli olarak paylaşılmasını gerektirmez. Rotaları yalnızca gerektiğinde aradığı için proaktif yönlendirmeye kıyasla veri trafiği, bant genişliğini kullanım ve enerji verimliliği sorunlarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Veri paketleri gönderilmeye hazır olduğunda bir rota talep paketi ile rota bulma paketi çağrılmaktadır. Reaktif yönlendirme protokollerindeki rota keşfi mekanizması bir kaynak düğüm, hedefi arayan tüm erişilebilir düğümlere bir istek mesajı göndererek başlamaktadır. Daha sonra her bir düğüm hedefe ulaşana kadar bu istek mesajını iletmektedir. Kaynak düğümünden çıkan paket hedefe ulaşırsa, rotanın tersine istek yoluyla bir yanıt mesajı göndererek iletim yapmaktadır [15].

En yaygın olarak bilinen reaktif yönlendirme protokolleri İsteğe bağlı Geçici Mesafe Vektörü (AODV), Dinamik Kaynak Yönlendirme protokolü (DSR), Geçici Olarak Sıralı Yönlendirme Algoritması (TORA), AID, FLUTE ve daha yakın zamanda AODV sürüm

2'dir. Kaynak ve hedef arasındaki yolun, ağda rota istek paketi yayınlayarak oluşturulduğu ve istenen hedefe ulaşılan kadar devam ettiği rota bulma mekanizması (AODV gibi) için yaygın olarak kullanılır.

Dinamik Kaynak Yönlendirme (DSR), kablosuz algılayıcı ağlar için bir yönlendirme protokolüdür ve kaynak yönlendirme olarak bilinen bir yöntemi temel alır. AODV'den en önemli farkı bir yol talep paketini yayınlayan her ara düğümün, pakette taşınan bir listeye kendi adres tanımlayıcısını eklemesidir [46]. DSDV, DSR, AODV ve OLSR algoritmalarının benzer ve farklı yönlerinin gösterildiği Çizelge 3.1. DSDV, DSR, AODV ve OLSR algoritmalarının karşılaştırması Çizelge 3.1 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1. DSDV, DSR, AODV ve OLSR algoritmalarının karşılaştırması.

Protokol Özelliği	DSDV	DSR	AODV	OLSR
Çok Noktaya Yayın Yönlendirme	-	+	-	+
Dağıtım	+	+	+	+
Doğrudan Bağlantı	-	+	-	+
Çok Noktaya Yayını Destekleme	-	-	+	+
Periyodik Yayın	+	-	+	-
QoS Desteği	-	-	-	+
Tutulan Yollar	Yönlendirme Tablosu	Yol Önbelleği	Yönlendirme Tablosu	Yönlendirme Tablosu
Duyarlı	-	+	+	-

### 3.1.3. Hibrit Yönlendirme

İki veya daha fazla modelin entegrasyonu hibrit olarak adlandırılır. Hibrit yönlendirme protokolleri tüm ağı birkaç bölgeye ayırır ve hem tablo güdümlü hem de isteğe bağlı yönlendirme protokollerinin birleşimidir. Bu da çeşitli avantajları ve dezavantajları birlikte getirir.

Hibrit yönlendirme protokolleri ortalama rota keşif süresini azaltırken yalnızca aktif yolların bilgisini koruyarak proaktif yaklaşımdaki ek yükleri en aza indirmeyi amaçlar.

Buna ek olarak, güvenilir iletişim için, her araç ağı iç ve dış bölgeler olarak iki bölgeye ayırır. İç bölge içinde yatan her araç periyodik olarak kontrol paketini yayınlar ve iç bölgenin diğer tüm araçlarına doğru yol içeren yönlendirme tablosunu korur. İstenen

hedef iç bölgede yoksa hedef dış bölgedeki yeri bulmak için rota bulma mekanizması kullanılır. Hibrit yönlendirme protokollerinin örnekleri GPSR, ZRP, CEDAR vb. dir.

Genellikle hibrit açgözlü yüz yönlendirme protokolleri, açgözlü yönlendirme modunda başlayıp geçerli düğüm hedeften kendisinden daha yakın bir komşu bulamadığında yüz yönlendirmesine geçerek iletim yapmaktadır. Açgözlü yönlendirme genellikle yüz yönlendirmesinden daha verimli olduğundan, açgözlü modda mümkün olduğunca fazla yönlendirme yapılması arzu edilir [2].

### **3.2. KONUM TABANLI YÖNLENDİRME**

Konum tabanlı yönlendirmede, yönlendirme kararları konum bilgileri kullanılarak alındığından düğümün bir sonraki sıçramayı bulmak için karmaşık hesaplamalar yapmasına gerekmemektedir. Konum tabanlı protokoller, küresel topoloji bilgisi yerine saf konum bilgisinden yararlandıklarından veri paketlerini yönlendirmek açısından çok etkili olmaktadır.

Konuma dayalı yönlendirme algoritmaları, paketin konum bilgisiyle coğrafi yönünde iletilmesini sağlayacak şekilde konum bilgisini kullanmaktadır. Bu tür yönlendirmede, düğüm, kendi düğümünün konumuna, hedefin konumuna ve doğrudan iletişim kurabildiği düğümlerin konumuna bağlı olarak mesajı iletmektedir. Konum tabanlı yönlendirme, çok sayıda ağ düğümü sık hareket ettiği için iyi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [47].

Geçici ağların sürekli rota bakımı, tüm ağ topolojisi bilgilerinin düğümlere depolanması ve gereksiz rota keşfi (proaktif teknikler durumunda) ile ağ aşırı yüklenmesi açısından dezavantajları bulunmaktadır. Bu sorunları aşmak için en kararlı rotayı sağlamada avantajlı olan konum tabanlı yönlendirme teknikleri geliştirilmiştir.

Dış mekan coğrafi konumları GPS teknolojisine dayalı olarak elde edilebilmektedir. İç mekan yerleştirilmesi, çapa düğümlerine veya konumlarını gönderen etiketlere dayanabilir. Bu nedenle, yol bakımı gerektirmez, çünkü paketler her seferinde farklı yollar izleyebilir.

Konuma dayalı yönlendirmenin avantajları olsa da yerel optimum problemi, optimum iletilici seçimi, yayın ek yükü sorunu ve doğru konumlandırma gibi çalışılan bazı sınırlamalara da sahip olmaktadır. Bununla birlikte, coğrafi konuma dayalı yönlendirme

kararları yüksek hassasiyetli kullanılabilir bir konum teknolojisine dayanmalıdır, aksi takdirde hatalı konumlar verimsiz yönlendirmeye yol açmaktadır.

Bu sınıfta en çok bilinen yönlendirme protokolleri arasında GPSR, GSR, SAR bulunmaktadır. Genel olarak, konuma dayalı yönlendirme üç alt sınıfa ayrılabilir; gecikme toleranslı ağ, gecikme toleranslı olmayan ağ ve hibrit konum tabanlı yönlendirme.

### **3.2.1. Gecikme Toleranslı Ağ**

Gecikme toleranslı konum tabanlı yönlendirme ise bağlantı kesilebileceğini dikkate alarak yönlendirme kararını vermektedir. Hibrit bir konum tabanlı yönlendirme türü, gecikme toleranslı ve gecikme toleranslı olmayan protokollerinin birleşimidir. Kısmi ağ bağlantısından yararlanır.

Düşük yoğunlukta genellikle taşıtların seyrek yerleştirildiği kırsal alanlarda etkin olarak kullanılmaktadır. Bu tür bir ağ, gecikme toleranslı ağ olarak adlandırılır. Burada genel olarak sakla ve ileri taşı mekanizması uygulanmaktadır.

Bu sınıfta en çok bilinen yönlendirme protokolleri arasında araç ağları için coğrafi fırsatçı yönlendirme (GeOpps) [48], VADD, MOVE bulunmaktadır.

### **3.2.2. Gecikme Toleranslı Olmayan Ağ**

Gecikme toleranslı olmayan ağ olmayan bölümlenmiş ağ yalnızca yüksek yoğunluklu ortam için uygundur. Yerel optimum sorunu, yüksek yoğunlukta olduğu kadar düşük yoğunluklu ağda da ortaya çıkabilmektedir. Burada yerel optimum durumu, ağda sık sık bozulmaya neden olan yoğun iletişim ortamının eşit olmayan dağılımının bir sonucudur.

Bu sorununun önüne geçebilmek için düzlemsel bir grafik kullanılmaktadır. Düzlemsel grafik, orijinal ağ grafiğinden türetilmiştir. Paket, deliklerden kaçınmak için düzlemsel grafiğin çevresini takip etmektedir. Azaltılmış düzlemsel grafik çok daha az yoğun iletişime sahiptir ve trafik, çevre modunda düzlemsel grafiğin çevresi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, düzlemsel grafik üzerindeki düğümler hızla tükenme eğilimindedir. Ek olarak, düğümlerin rastgele dinleme modunda çalıştığı ve sonuç olarak enerji tükettiği varsayılmaktadır [49].

Bu sınıfta en çok bilinen yönlendirme protokolleri arasında Açgözlü Çevre Durumsuz Yönlendirme (GPSR) [5], Bağlantı Farkında Yönlendirme (CAR) ve GV Grid

bulunmaktadır.

### **3.2.3. Hibrit Konum Tabanlı Yönlendirme**

Konuma dayalı yönlendirme algoritmaları, paketin varış yerinin coğrafi yönünde iletilmesini sağlayacak şekilde konum bilgisini kullanmaktadır. Bu tür yönlendirmede, düğüm, kendi düğümünün konumuna, hedefin konumuna ve doğrudan iletişim kurabileceği düğümlerin konumuna bağlı olarak mesajı iletmektedir. Konum tabanlı yönlendirme, çok sayıda ağ düğümüne ölçeklenebilir ve düğümler sık hareket ettiğinde etkili olmaktadır. Hibrit iletişim iki farklı algoritmanın birlikte çalışmasında daha iyi bir seçim olduğunu kanıtlayan protokollerin niteliksel karşılaştırması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada hibrit konum tabanlı yönlendirme algoritması kullanılmıştır. Açgözlü ve yüz yönlendirme algoritmalarının ortam şartlarına göre en uygun olanının kullanıldığı bir coğrafi yönlendirme algoritması tasarlanmıştır.



## 4. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN COĞRAFI TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİ

Dünya çapındaki pandemi durumları ülkeleri yüksek sağlık hizmeti maliyetlerine ve tehlikeli koşullara sürüklemektedir. Bu tür pandemi durumlarında hastane doluluk oranları ve tıbbi harcamalar önemli ölçüde artmaktadır. Elektronik sağlık (e-sağlık) ekipmanına sahip uzaktan sağlık izleme ve gözetim sistemleri pandemi yaşanan dönemlerde de önemli rol oynamaktadır. Bir pandemiyi yayılmasını önlemek, pandemi hastaları tedavi etmek kadar önemlidir. COVID-19 pandemisi, şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs 2'nin (SARS-CoV-2) neden olduğu 2019 koronavirüs hastalığının (COVID-19) devam eden salgınıdır. Bundan dolayı bu tezde KVAA-arası coğrafi yönlendirme algoritması ile özellikle koronavirüs pandemisine yönelik bir gözetim sistemi önerilmektedir.

Çalışmamızdaki ana ağ mimarisi, önerilen yönlendirme algoritması kullanılarak tasarlanmış KVAA-arası iletişimdir. KVAA-içi, çeşitli önceliğe sahip sekiz düğümden ve bir koordinatör düğümden (HUB) oluşur. KVAA-arası, kümeleme, yönlendirme, vb. gibi bazı işbirliği tekniklerine sahip birkaç KVAA-içi bağlantıdan oluşur.

Önerilen sistem iki ana bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen Riverbed Modeler'da modellenmiştir. Bu bileşen sistemin ağ bölümünü oluşturur ve gelişmiş coğrafi yönlendirme algoritmasına sahip IEEE 802.15.6 protokol tabanlı KVAA'lara sahiptir. KVAA-arası iletişim için coğrafi tabanlı bir yönlendirme algoritması geliştirilmiştir.

İkinci bileşen InfluxDB, Node-RED ve Grafana yazılımlarından oluşmaktadır. Sistemin ilk bileşeninden toplanan veriler InfluxDB ve Node-RED aracılığıyla veri tabanına kaydedilir, ardından ağdan gelen veri tabanındaki veriler Grafana'da görselleştirilmiştir.

InfluxDB gerçek zamanlı analitik çalışmaların, uygulama metriklerinin saklanması ve analizi gibi konularda kullanılan ve yüksek performans / sorgulara hızlı cevap verme gibi üstün özellikleriyle ön plana çıkan açık kaynaklı bir veritabanı türüdür.

Grafana bir veri görselleştirme aracıdır. InfluxDB'nin içerisindeki verileri grafik arabirimine dönüştürmektedir. Grafana, InfluxDB için zengin özelliklere sahip bir veri kaynağı eklentisiyle birlikte gelmektedir. Eklenti, özel bir sorgu düzenleyicisi içerir ve ek açıklamaları ve

sorgu şablonlarını desteklemektedir. Soket programlama ile iki bileşen birleştirilmektedir. Bu nedenle, bu bileşenler daha gerçekçi performans analizi için aynı anda çalışabilmektedir.

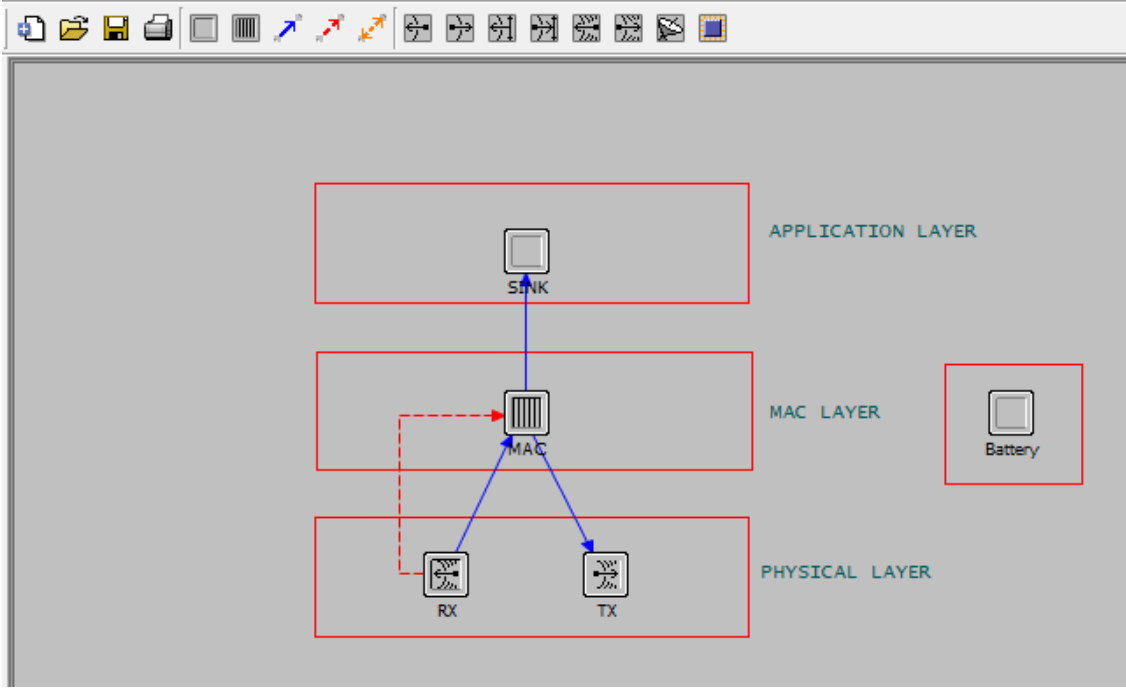
#### **4.1. BENZETİM MODELİ**

Coğrafi tabanlı KVAA mimarisi için farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümleri ile coğrafi tabanlı yönlendirme yaklaşımının ağ modeli Riverbed Modeller benzetim yazılımı ile tasarlanmıştır.

##### **4.1.1. Riverbed Modeller Benzetim Yazılımı**

Nesne yönelimli bir benzetim yazılımı olan Riverbed Modeller haberleşme ağlarının modellenmesinde ağ performans yönetimi, uygulama performans yönetimi ve ağ Ar-Ge konularında çeşitli ağ çözümleri sunduğu için akademik mecrada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Modelleme, benzetim ve analiz olmak üzere Riverbed Modeller yazılımının üç temel işlevi vardır. Modellenen sistemlerin davranış başarımları analizleri ayrık olarak benzetim yöntemi ile gerçekleştirilir. Benzetimi gerçekleştirilen sistemin başarımlarını değerlendirmesi hiyerarşik modelleme katmanlarına sahip ayrık durum benzetimi ile yapılabilmektedir. Bu yazılımla kullanılacak bağlantı hatları, veri paketleri, düğümler, katmanlar ve protokoller ayrı editörlerde hazırlanabilmektedir. Riverbed Modeller yazılımındaki editörler yardımıyla yeni protokol modeli tasarlanıp tasarlanan bu modeller ve protokoller yazılım kütüphanesine eklenebilmektedir. Riverbed Modeller yazılımında KVAA iletişimi için ağ katmanları Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



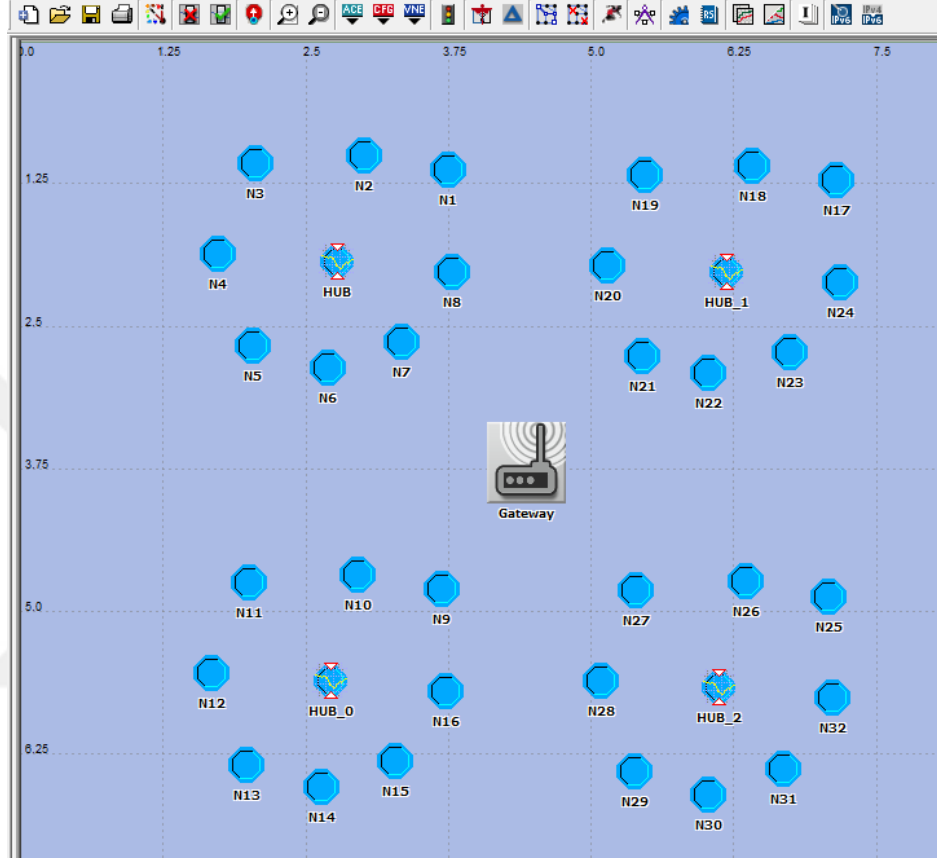
Şekil 4.1. Riverbed Modeller yazılımında KVAA iletişimi için ağ katmanları.

Riverbed Modeller Yazılımı başlıca avantajları ve bu tezde kullanma nedenleri şunlardır;

- Yeni protokol ve ürün modelleri oluşturulabilmektedir.
- Yeni oluşturulan protokoller ve ürün modelleri model kütüphanesine eklenebilmektedir.
- Bir haberleşme sisteminin modellenmesi, benzetimi, veri toplaması, sıfırdan tasarlanıp başka uygulamaya ihtiyaç duyulmadan sonuçların analiz edilmesi Riverbed Modeller yazılımında yapılabilmektedir.
- Geniş bir kütüphaneye sahiptir.
- Görsellik açısından zengin bir içeriğe sahiptir.
- Kullanımı kolaydır.
- Benzetim sonuçları işleme için uygundur. Elde edilen veriler analiz edilir ve kolayca görüntülenebilir.
- Grafikselleştirilebilir. Anlaşılabilir grafikler, istatistik ve hatta animasyonlar kullanıcının rahatlığı için Riverbed tarafından detaylıca geliştirilmiştir.

### 4.1.2. Proje Modeli

Bu editörde ağ topolojisi tasarlanırken kullanılacak düğümlerin sayıları, özellikleri, hareketleri ve konumları belirlenir. Ayrıca ağ trafiğinde tanımlanan yüklerin özellikleri ve benzetim sonucunda hedeflenen istatistik seçimleri yapılır. Şekil 4.2’te örnek proje modeli sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Örnek proje modeli.

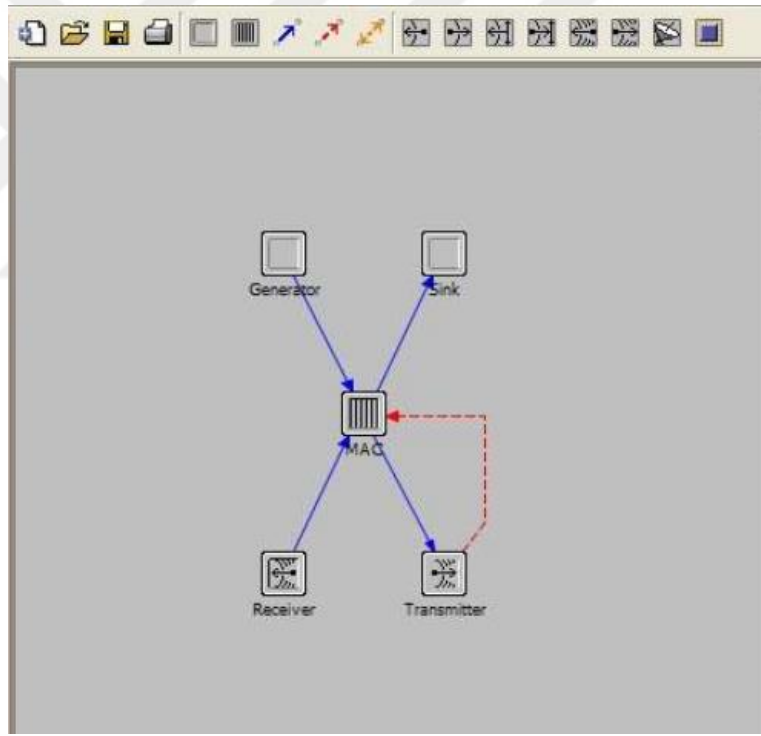
### 4.1.3. Düğüm Modeli

Düğüm modeli, paket akışlarının belirlendiği, işlemlerin yapılacağı blokların düzenlendiği, OSI referans modeli gibi düğümlerin modüler yapısının ve iletişim şeklinin oluşturulduğu yerdir. ‘Generator’, ‘Sink’, ‘MAC’, ‘Receiver’, ve ‘Transmitter’ olarak adlandırılan modüller düğüm modelinin yapısını oluşturmaktadır.

Bu modüllerin işlevleri kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir,

- Paket üretimi Generator modülünde gerçekleştirilmektedir. Paket üretimi sırasında paketin formatı, üretim aralığı, boyutu, başlangıç ve bitiş zamanı gibi parametreler bu modülde belirlenmektedir.

- Sink modülü, OEK katmanına gelen paketlerin ulaştığı modüldür. Bu modülde OEK katmanına gelen paketler düğüme ait ise sink modülüne gönderilmektedir. Pakete ait uçtan uca gecikme, trafik bilgisi gibi istatistikler hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu istatistikler kaydedilip daha sonra paket yok edilmektedir.
- MAC modülü, OEK protokolünün işlevlerinin gerçekleştiği kısımdır. Bu modülde kuyruk yapısı ile ilgili parametreler belirlenmektedir.
- Receiver modülü, gelen paketlerin alındığı alıcı modülüdür. Paketlerin geçeceği kanalın ve alınacak paketlerin formatı bu modülde belirlenmektedir.
- Transmitter modülü, paketlerin alındığı verici modülüdür. Bu modülde veri iletim hızı, modülasyon türü, hata modeli gibi tanımlanabilecek diğer özellikler bulunmaktadır. Şekil 4.3’de örnek bir düğüm modeli sunulmaktadır.



Şekil 4.3. Düğüm modeli.

#### 4.1.4. Süreç Modeli

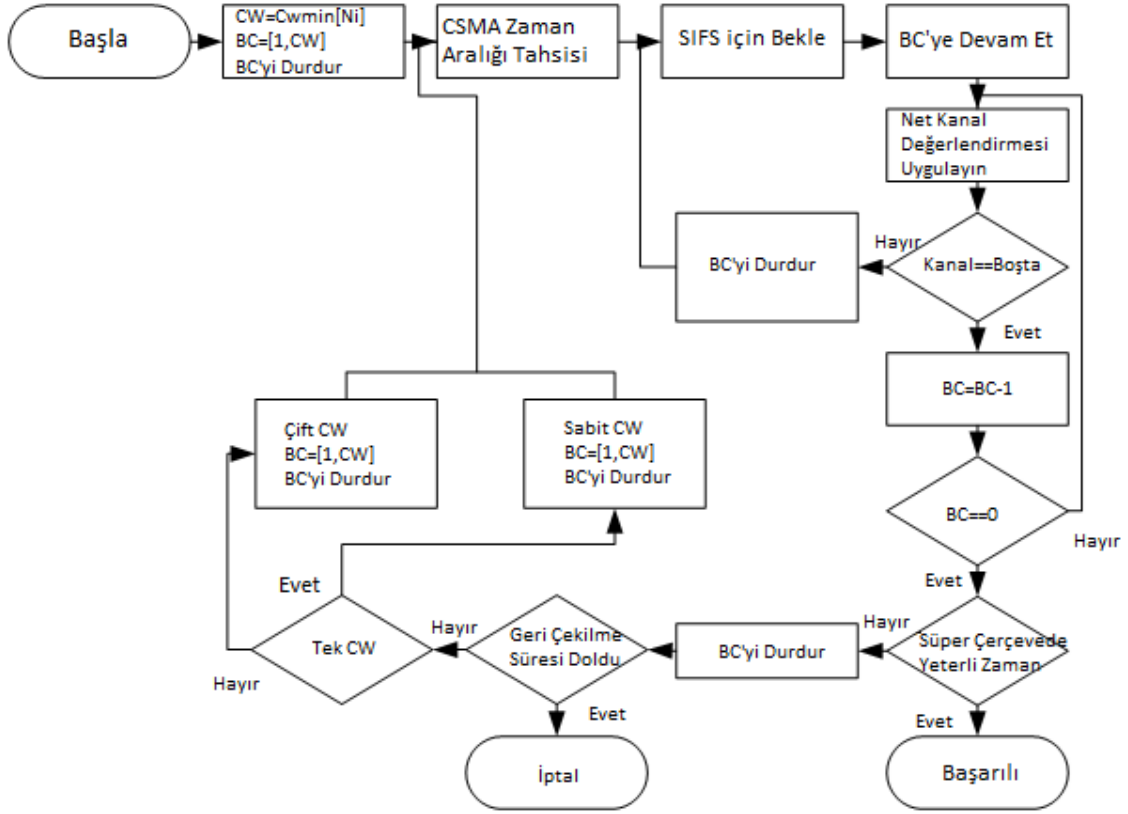
Fonksiyon blokları ve işlemlerin yer aldığı start, setup, slot, timeout, send, backoff durum makinesi gibi sonlu durum makinelerinden oluşmaktadır. Bu durum makinalarının arasındaki durum geçişleri bağlantılarla ifade edilmektedir. KVAA’daki bir düğüme ait süreç modeli Şekil 4.4’de görülmektedir.



Tüm düğümler ve HUB, CSMA/CA OEK tabanlı IEEE 802.15.6 protokolünü kullanır. Her algılayıcı düğümünün bir önceliği vardır ve HUB, uzak merkezlere veri iletmek için bu önceliklerin farkındadır. Örneğin, kalp atış hızı yaşamsal belirtisi diğerlerinden daha önemlidir. Bu nedenle, bu tür işaretlerin gecikmeleri ve çıktı sonuçları daha önemli olmalıdır. Vücut algılayıcı düğümleri düşükten yükseğe N0, N1, ..., N7 sekiz farklı önceliğe sahiptir. Bu düğümlerin ortasına, bir koordinatör düğüm ve GPS ünitesi yerleştirilir.

CSMA / CA, IEEE 802.11 standardı için geliştirilen çoklu erişim tekniğidir. Bu teknik, düğümlerin ağ üzerinde paylaşılan ortamdaki olayları algılamasına izin veren algılama mekanizmalarına sahiptir. Algılayıcılar, paylaşılan kablosuz ortamı dinleme ve algılama yeteneğine sahiptir. Bir düğüm, algılanan verilerini iletmeden önce ortamı dinler. Ortam meşgul değilse, düğüm veri gönderebilir. Ortam meşgulse, düğüm, verilerini göndermek için rastgele bir süre için geri çekilecek ve ardından tekrar deneyecektir.

IEEE 802.15.6 standardında kullanılan CSMA/CA, KVAA içi mimari için bazı değiştirilmiş aşamalar içerir. İlk olarak, IEEE 802.15.6, Alternatif İkili Üstel Geri Alma (ABEB) prosedürüne sahiptir. HUB'a gönderilecek bir paketi olan düğüm, yeni bir koşullu zaman dilimi için  $[1, CW]$  arasında çekişme penceresini ( $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ ) ve geri çekilme sayacını (BC) tutmaktadır. Düğümlerin önceliğine göre  $CW_{min}$  ve  $CW_{max}$  değerleri seçilebilir. En yüksek öncelik, acil durum olaylarını hedefe en az gecikmeyle iletmek için kanala erişim olasılığını artıran küçük bir CW değerine sahiptir. Paket göndermek için rekabet eden düğümler, çarpışma olasılığını en aza indirmek için geri çekilme sayacını eşit olarak dağıtılmış bir aralık  $[1, CW]$  üzerinden rastgele bir tamsayı ile ayarlar. IEEE 802.15.6'nın tüm işlem adımları, Şekil 4.6'deki akış diyagramıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.6. CSMA / CA tabanlı IEEE 802.15.6 veri aktarım akış şeması.

#### 4.2.1. CSMA/CA Temelli IEEE 802.15.6 Standardı

İnsan vücuduna yerleştirilen algılayıcılar kablosuz ortamda ISM bandında çalışmakta olup 2.4 GHz bandında CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) ortam erişim tekniğini kullanmaktadırlar.

Bu bölümde Riverbed Modeler benzetim yazılımında gerçekleştirilen ve KVAA için coğrafik tabanlı yönlendirme mimarisinin altyapısını oluşturan IEEE 802.15.6 standardının kullanılan özellikleri açıklanmıştır. Bu mimari, IEEE 802.15.6 standardının tanımladığı fiziksel ve veri bağı katman özelliklerine göre tasarlanmıştır. Bu standart, KVAA mimarisinin temel altyapısını oluşturmaktadır ve sadece koordinatör düğümü ve bu düğüme bağlı algılayıcı düğümler arasındaki kablosuz haberleşme (KVAA-içi) yöntemlerini tanımlamaktadır. Her algılayıcı düğümün farklı görevleri, veri hızları ve öncelikleri bulunmaktadır.

#### 4.2.2. Öncelik Haritası

KVAA, insan vücudu içine, üzerine ya da çevresine yerleştirilmiş genellikle biyolojik verileri algılayabilen algılayıcı/eyleyici ağıdır. Her bir algılayıcı düğüm Çizelge 4.1'de verilen sekiz

öncelik sınıfından birine sahiptir ve farklı büyüklükte ve önemde verileri toplayıp koordinatör düğüme göndermekten sorumludur. Gelen veriler koordinatör düğümde öncelik bilgisine göre sıralanmakta ve ilgili birime gönderilmektedir.

Kaynak sınırlamaları nedeniyle, KVAA'ların, kullanıcının vücudundan fizyolojik verileri güvenli ve emniyetli bir şekilde toplamak için bir dizi algılayıcı düğümüne ihtiyacı vardır. Her algılayıcı düğümün farklı görevleri, veri hızları ve öncelikleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. KVAA kullanıcı öncelik sınıfları ve veriler (V: Veri – Y: Yönetim).

UP	Veri Tipi	Paket Tipi
0	Arka plan	V
1	En iyi Erişim	V
2	Mükemmel Erişim	V
3	Video	V
4	Ses	V
5	Medikal veri	V/Y
6	Yüksek Öncelikli Medikal Veri	V/Y
7	Acil	V

IEEE 802.15.6 standardında ortam erişimi için kullanıcı öncelikleri sekiz farklı erişim kategorisine ayrılmıştır. 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.

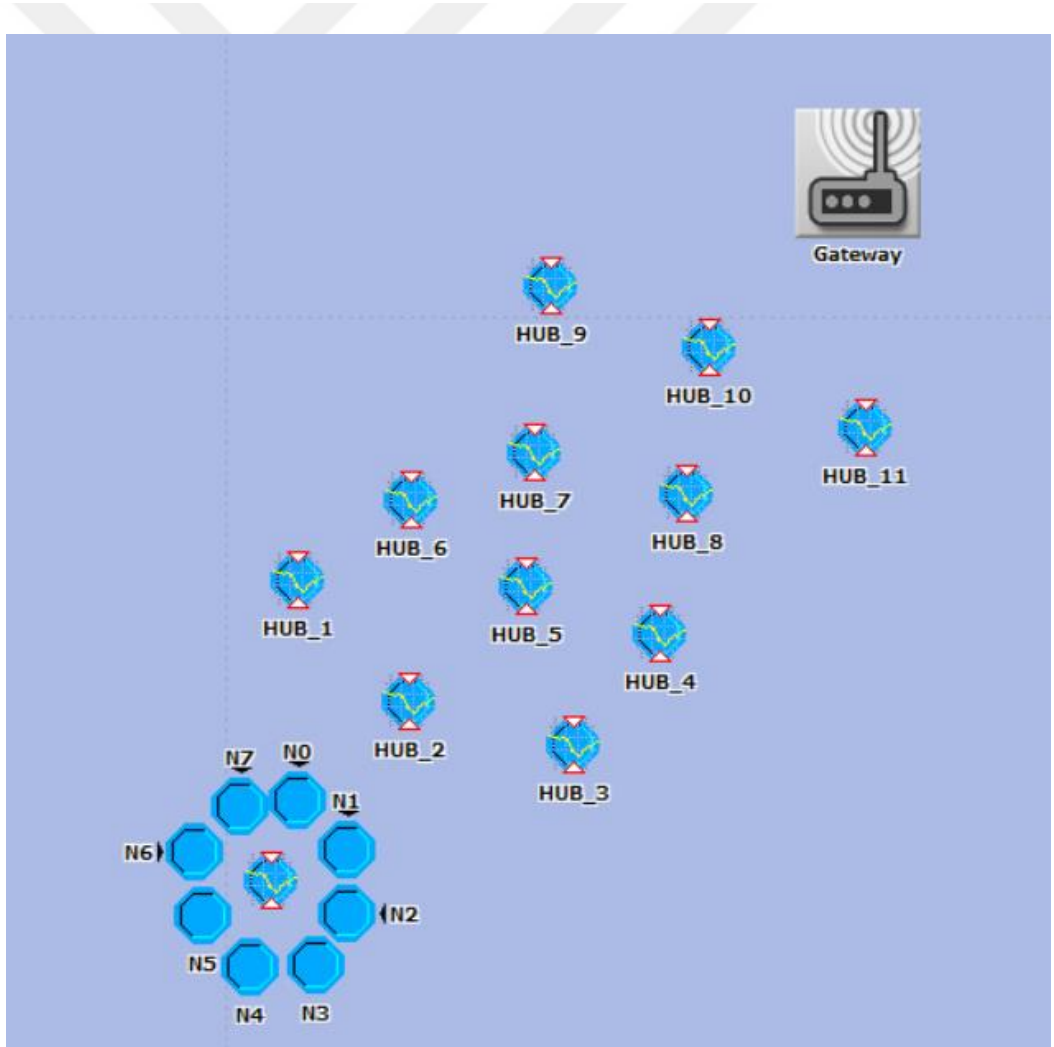
Çizelge 4.2. Öncelik sınıflarına göre ÇPmin ve ÇPmaks değerleri.

Öncelik Sınıfları	UP	CSMA/CA	
		ÇPmin	ÇPmaks
<i>Düşük</i>	0	16	64
	1	16	32
<i>Orta</i>	2	8	32
	3	8	16
	4	4	16
<i>Yüksek</i>	5	4	8
	6	2	8
	7	1	4

Farklı kullanıcı ve ağ trafiğine ait minimum ve maksimum ÇP değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Bu farklı veri trafiği, CSMA/CA veya Slotted Aloha çoklu erişim teknikleri için minimum ve maksimum ÇP değerleri (ÇPmin ve ÇPmaks) ile önceliklendirilmiştir. Bu tez kapsamında daha gerçekçi bir benzetim gerçekleştirebilmek adına CSMA/CA tercih edilmiştir.

Bu standardın performans analizi için öncelikle farklı önceliklere sahip sekiz algılayıcı düğüm tanımlanmıştır[40]. Koordinatör düğüm ile algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme için işaret paketli süper çerçeve yöntemi tercih edilmesinin nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- Koordinatör düğüm ile algılayıcı düğümler arasında senkronizasyon sağlanması,
- Ağı daha güvenilir ve enerji tüketimi açısından daha verimli hale getirmesi,
- Algılayıcı düğümlerin gönderilecek verileri olmadığı sürece uyku moduna geçmesine imkan sunması.



Şekil 4.7. Riverbed Modeller'de proje modeli.

Tek atlamalı yıldız topolojisinde kurgulanan Şekil 4.7'deki örnek senaryoda da görüldüğü gibi ağdaki her algılayıcı düğümün sürekli paket gönderdiği doygun bir ağ trafik durumu ele alınmıştır. Çizelge 4.3'de de verildiği gibi farklı öncelikli algılayıcı düğümler kendileri için tanımlanmış ÇP değerlerini kullanmaktadırlar. Algılayıcı düğümler KVAA-içi ortam erişimi için ÇP (ÇPmin, ÇPmaks) aralığında [1, 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, ÇPmin, ÇPmaks, 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 (sayac 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
```

Bu mimari 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 koordinatör düğüm 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 koordinatör düğüm 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. KVAA-ARASI COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİ

Her KVAA, kendi içinde yukarıda bahsedilen CSMA / CA tabanlı IEEE 802.15.6 protokolünü kullanır. KVAA'lar birbirleriyle iletişim kurmak istediklerinde, veri güvenliği nedeniyle yalnızca koordinatör düğümler verileri diğer koordinatör düğümlere iletebilir. Bu iletişim türü olarak adlandırılır KVAA-arası iletişim, yönlendirme algoritmaları ve bazı izinler ile kurulabilmektedir. Önerdiğimiz sistemde, koordinatör düğümler diğer koordinatör düğümleri algılayabilir ve verileri diğerlerine çift yönlü olarak iletebilir.

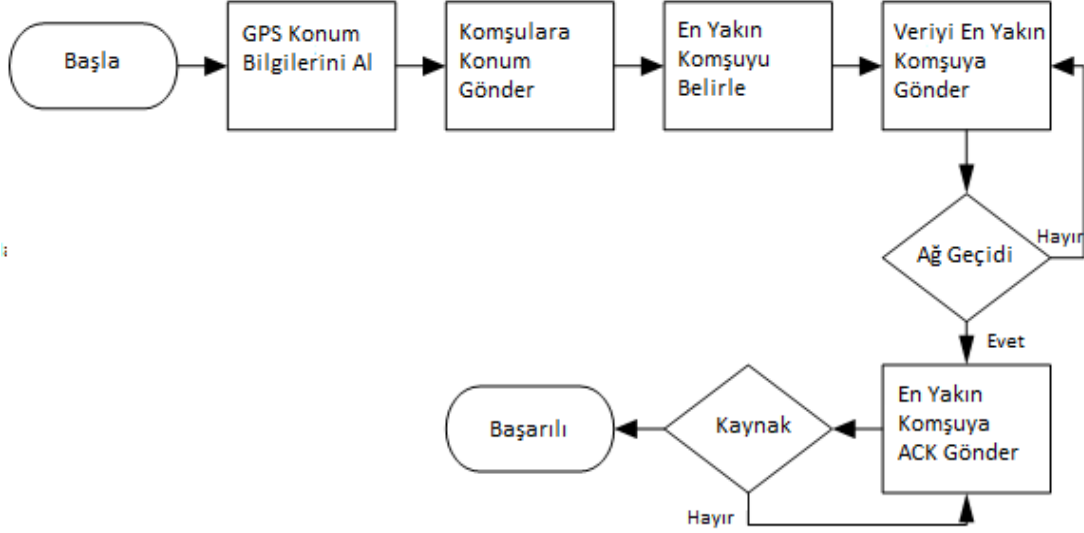
KVAA'lar sadece sağlık alanında kullanılmamaktadır. Askerler, eğitmenler, öğrenciler, işçiler, spocular ve itfaiyeciler için de çeşitli amaçlarla kullanılabilir. KVAA ile donatılmış benzetimdeki kişiler, vücut işaretleri düğümler tarafından algılanarak koordinatör düğüme iletilmektedir. KVAA-arası iletişim bu aşamadan sonra çalışmaktadır. Tüm koordinatör düğümlerin GPS modülleri vardır ve konumları GPS ile belirlenebilmektedir. Koordinatör düğümler konum bilgilerini belirli zamanlarda paylaşmaktadır. Bu nedenle, koordinatör düğümler komşularına olan uzaklığı ölçerek ve kıyaslama yaparak en yakın komşuyu tespit edebilmektedir.

Öklit uzaklık formülü en yaygın olarak kullanılan uzaklık hesaplama formülüdür. Aralarındaki uzaklık hesaplanan nesnelere uzayda temsil eden x ve y noktalarıdır. x ve y noktaları arasındaki uzaklığı Öklit uzaklık formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Öklit formülü denklem (4.1)'de görülmektedir.

$$distance(x, y) = \{\sum_i (x_i - y_i)^2\}^{1/2} \quad (4.1)$$

Uzak ağ geçidini iletilecek verilere sahip her koordinatör düğüm, verileri en yakın komşuya gönderir. Ardından, koordinatör düğüm, önceki koordinatör düğümden gelen verileri alır. Verilerin iletimi, veriler hedef ağ geçidine ulaşana kadar bu şekilde devam eder. Yukarıda bahsedilen veri teslimi, GPS tarafından desteklenen konum bilgisine dayanan tasarsız ağlarda coğrafi yönlendirme olarak adlandırılmaktadır. KVAA içi iletişimden başlayıp KVAA arası iletişimle devam eden

çalışmamızdaki operasyon zinciri, dışarıdaki kişileri pandemi durumlarından korumayı ve istenmeyen senaryolar için uzaktaki merkezleri uarmayı amaçlamaktadır. Detaylar ve çalışma koşulları bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır. Önerilen coğrafi yönlendirmenin tüm işlem adımları, Şekil 4.8'deki akış diyagramı ile gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Coğrafi yönlendirme akış diyagramı.

Coğrafi yönlendirme, coğrafi konum bilgisine dayanan bir yönlendirme şeklidir [45]. Temel olarak kablosuz ağlar için önerilmekte ve kaynağın ağ adresini kullanmak yerine hedefin coğrafi konumuna bir mesaj göndermesi fikrine dayanmaktadır. Coğrafi yönlendirme, her düğümün kendi konumunu belirleyebilmesini ve kaynağın hedefin konumunun farkında olmasını gerektirmektedir. Bu bilgilerle, ağ topolojisi veya önceden bir rota keşfi hakkında bilgi sahibi olmadan bir mesaj hedefe yönlendirilebilmektedir.

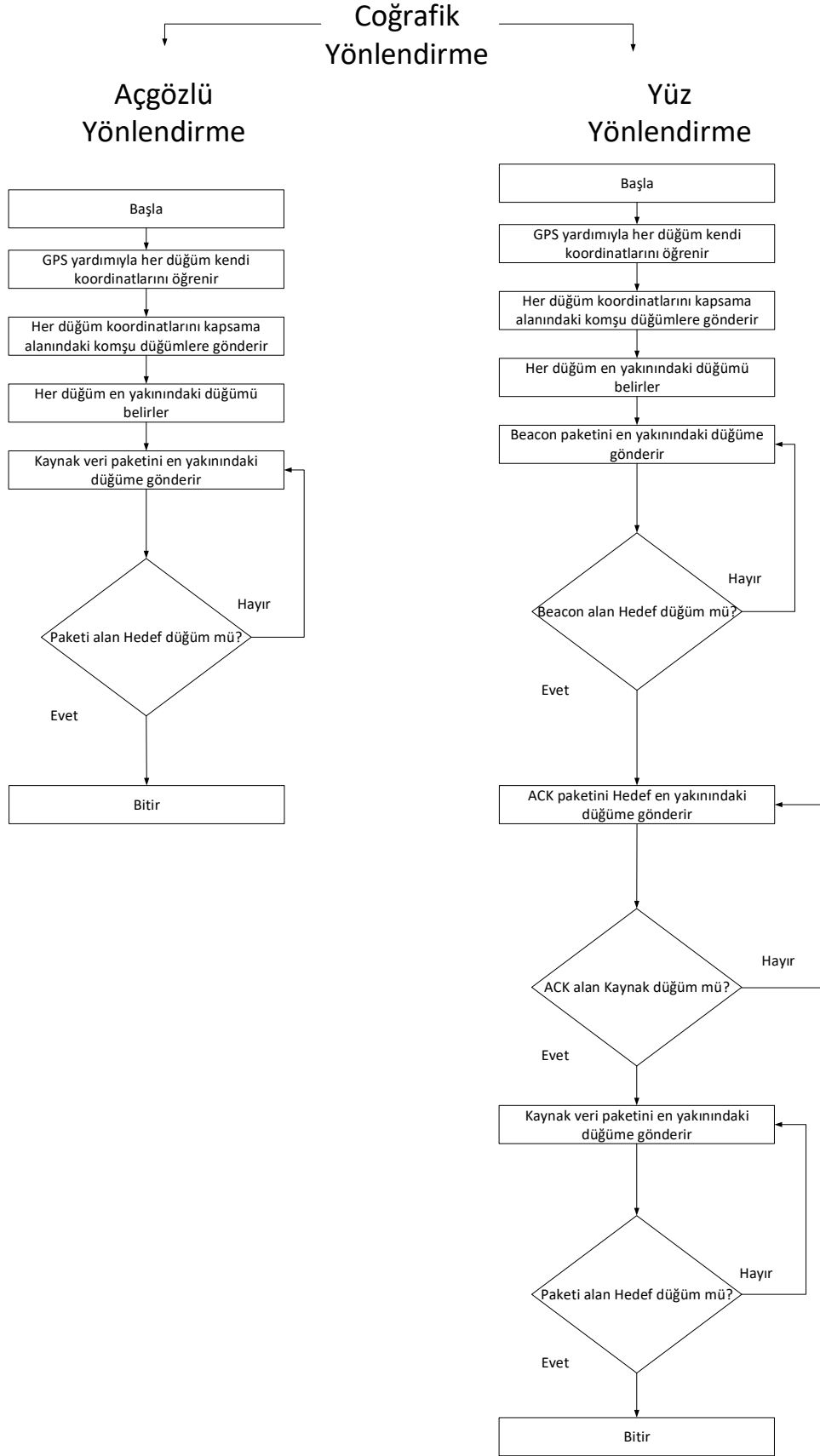
Coğrafi bilgiye dayalı olarak yönlendirme yapmak için her bir düğümün coğrafi konumunun farkında olması ve komşularını bilgilendirmesi gerekmektedir. Bu sebeple KVAA yapısında bulunan koordinatör düğüm GPS donanımı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Koordinatör GPS yardımıyla koordinat bilgilerini alabilmektedir.

Açgözlü yönlendirme, paketlerin ağda her ilerlemesinde hedefe en yakın olan komşuya iletiildiği basit bir coğrafi yönlendirme şeklidir. Açgözlü yönlendirme hem anlaşılması ve uygulanması basittir hem de verimlidir. Ancak, açgözlü yönlendirmenin önemli bir dezavantajı vardır; bir düğüm hedefe kendisinden daha yakın bir komşu bulamadığında, paketi yok etmesi gerekmektedir.

Yüz yönlendirme, kablosuz tasarsız ağlarda yönlendirme için basit bir yöntemdir. Yönlendirme

yapmak için yalnızca düğümler hakkındaki konum bilgilerini kullanmaktadır. Statik bağlantılı düzlem grafiklerde mesaj teslimini kanıtlanabilir şekilde garanti etmektedir. Bununla birlikte, gerçek bir kablosuz ağda statik bağlantılı bir düzlem grafiğinin elde edilmesi genellikle zordur.





Şekil 4.9. Açgözlü ve yüz yönlendirme algoritmaları.

Yüz yönlendirme algoritması için her düğümün koordinatları ile karakterize edilmesi ve bir düğümün her paket göndermesi gerektiğinde, onu diğer tüm düğümlerden daha yakın olan komşu düğüme iletmektir. Bu kararı vermek için yönlendirme tablosunda coğrafi bilgilerin (konum) tutulması gerekmektedir. Bu bilgi, her bir düğümün yerini düzenli olarak ilettiği “BEACON” mesajları aracılığıyla toplanmaktadır. Beacon paketleri verinin iletileceği yolu belirleyerek ve Alındığını Bildirme (ACK) paketleri sayesinde hedefe bir yol olduğunu doğrular. Şekil 4.9’da iki yönlendirme algoritmasının akış diyagramları verilmiştir.

Akış diyagramlarındaki her bir aşama şu şekilde gerçekleşmektedir; ilk olarak coğrafi yönlendirme, coğrafi konum bilgisine dayalı bir yönlendirme şekli olduğu için kaynak düğümün ağ adresini kullanmak yerine hedef düğümün coğrafi konumuna bir mesaj göndererek ilerler. Coğrafi yönlendirme, her düğümün kendi konumunu belirleyebilmesini ve kaynak düğümün hedef düğümün konumundan haberdar olmasını gerektiren bir yönlendirme olduğu için ağ topolojisi veya bir rota keşfi hakkında önceden bilgi sahibi olmadan hedefe bir mesaj yönlendirebilmektedir.

Coğrafi bilgilere dayalı olarak KVAA'lardaki koordinatör düğümlerde gezinmek için, her koordinatör düğümün coğrafi konumunun farkında olması ve komşularına bilgi vermesi gerekir. Koordinatör GPS yardımıyla koordinat bilgisi alabilir. Bu nedenle koordinatör düğümlerin GPS donanımına sahip olacağı bir KVAA mimarisi tasarlanmıştır.

Çalışmamızda her iki algoritmanın olumlu taraflarına sahip bir coğrafik yönlendirme algoritması geliştirilmiştir. Amaçlanan yönlendirme algoritması kaynaktan çıkan her veri paketinin hedefine teslim edilmesini garanti edecek ACK mekanizmasına, öncelik sınıflarına ve çakışmaları önleyen mekanizmasıyla CSMA/CA tabanlı ortam erişimine sahiptir. Ayrıca 2.4. GHz’de çalışan IEEE 802.15.6 protokolü kullanması sayesinde IP tabanlı ağlara uyumludur.

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

## **5. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN COĞRAFI TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

KVAA-arası iletişim sağlanabilmesi için farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümleri ile coğrafi tabanlı bir yönlendirme algoritması Riverbed Modeler benzetim yazılımı ile tasarlanmıştır. Bireylerin sağlık verileri KVAA yapısındaki algılayıcılar aracılığıyla toplanarak KVAA-arası iletişimle uzak birimlere aktarılmaktadır. Bu sayede topluluğu oluşturan her bireyin pandemi süreçlerinde sağlık durumları gözetim altında tutulabilmesi amaçlanmaktadır. Gerekli ölçümler dikkate alındığında örneğin vücut sıcaklığı bir eşik değerinin üstüne çıkması halinde uyarı mekanizmaları çalıştırılıp gerekli önlemlerin zamanında alınmasını da sağlayabilecektir. Tasarlanan bu sistemin pandemi süreçlerinde önemli rol oynayabileceği düşünülmektedir. Özellikle pandemi süreçlerinde açık ortamlarda insan topluluklarının uzaktan sağlık izlemeleri bu sayede gerçekleştirilmiş olacak ve çeşitli uyarı, önleme, teşhis ve tedavi süreçlerinde kullanılabilir.

### **5.1. IEEE 802.15.6 OEK TEKNİĞİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu bölümde IEEE 802.15.6 standardının performans analizi Riverbed Modeler benzetim yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. IEEE 802.15.6, coğrafi tabanlı KVAA mimarisinde fiziksel ve veri bağı katmanlarının tanımlandığı, HUB ve ona bağlı algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme standartlarını tanımlayan standarttır.



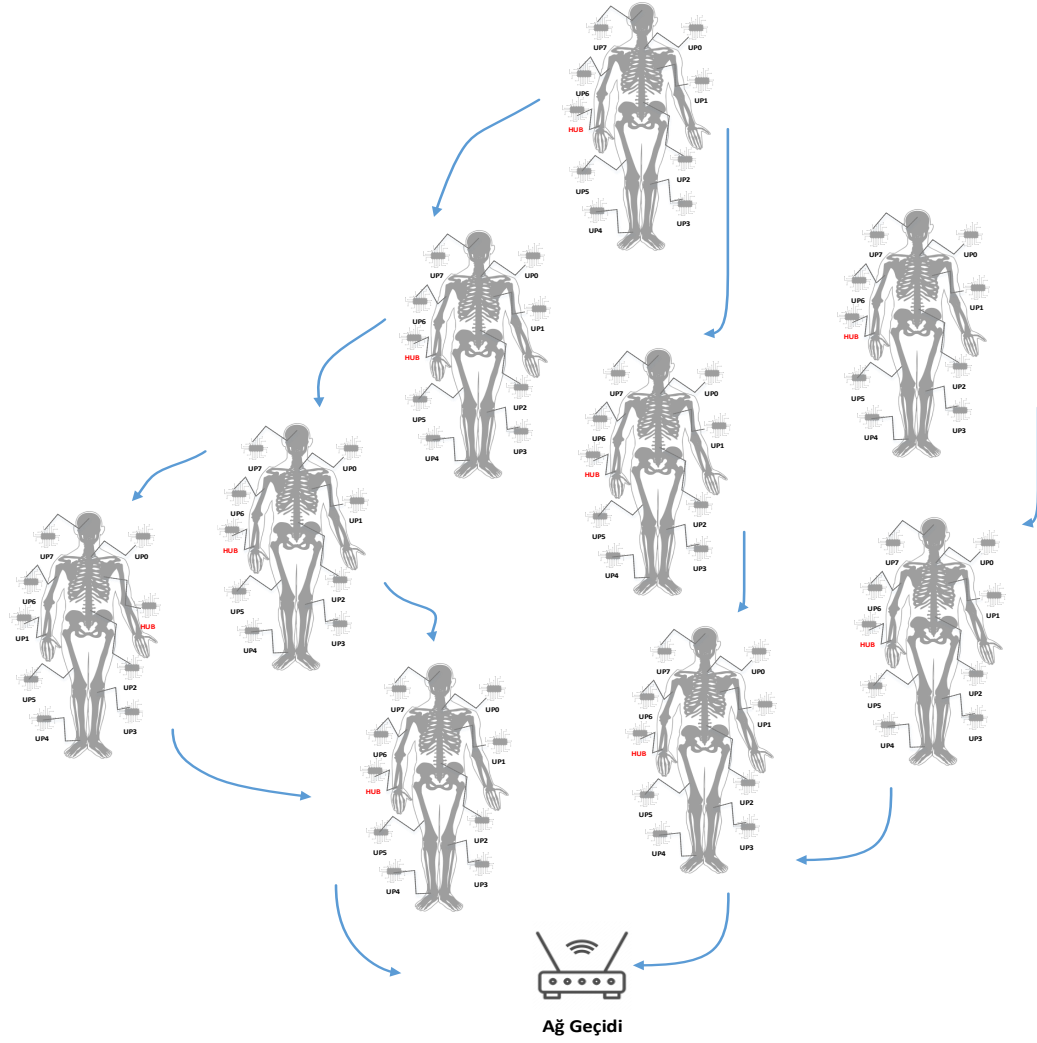
Şekil 5.1. Riverbed Modeller yazılımında düğümler.

KVAA mimarisi N0, N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, koordinatör düğüm 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.

Çalışmamızda KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 standardı ve KVAA-arası haberleşme için coğrafi tabanlı yönlendirme algoritmasını kullanmaktadır. Henüz IEEE 802.15.6 standardını destekleyecek bir donanım üretilmemiş olmasına rağmen literatürdeki KAA ve KVAA mimarileri için genellikle MicaZ pil değerlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu sebeple performans analizlerinde MicaZ parametrelerinin veri sayfasında verilen değerlere göre benzetim yapılmıştır [50].

## 5.2. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME MİMARİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde coğrafi tabanlı KVAA mimarisi için açgözlü yönlendirme ve yüz yönlendirme algoritmaları hibrit olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yönlendirme algoritmasının performans analiz sonuçları verilmiştir. Her iki algoritmanın olumlu taraflarına sahip bir coğrafi tabanlı yönlendirme algoritması geliştirilmiştir. Tasarlanan bu yönlendirme algoritması kaynaktan çıkan her veri paketinin hedefine teslim edilmesini garanti edecek ACK mekanizmasına, öncelik sınıflarına ve çakışmaları önleyen mekanizmasıyla CSMA/CA tabanlı ortam erişimine sahiptir. Şekil 5.2’de KVAA-arası yönlendirme işlemlerinde olası rotalar gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Örnek KVVAA-arası yönlendirme işleminde olası rotalar.

Tasarlanan algoritmanın başarımının incelenmesi için farklı kullanıcı yoğunluğu olan iki senaryo gerçekleştirilmiştir.

### 5.2.1. Senaryo 1

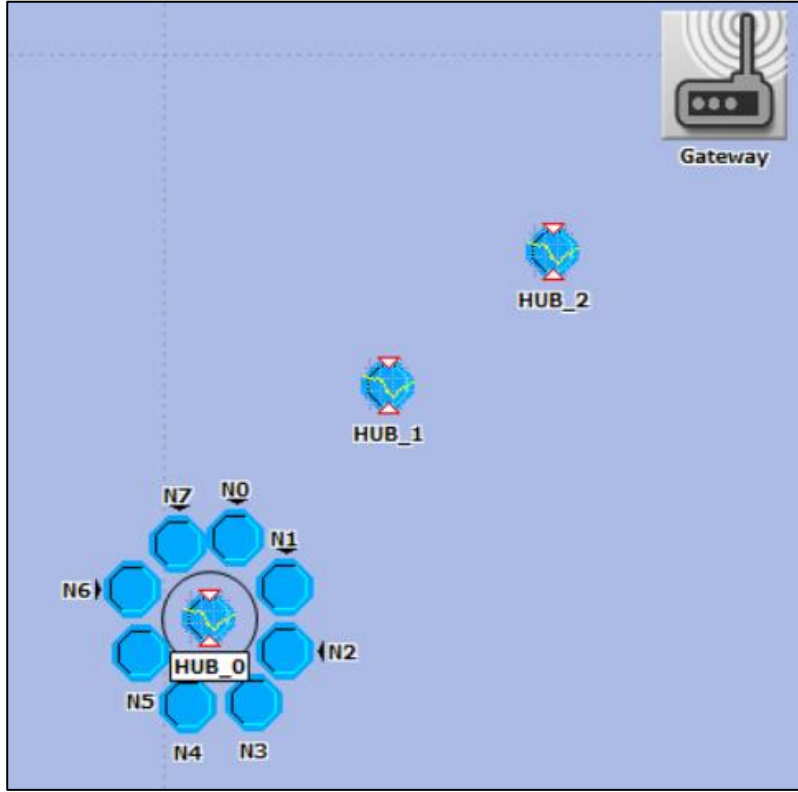
İlk senaryoda 3 HUB ve ilk HUB'a bağlı sekiz önceliğe (N0,N1,...,N7) sahip sekiz düğüm bulunmaktadır. Sekiz düğüm (N0, N1,..., N7) ve HUB (HUB\_0) IEEE 802.15.6 protokolü ile haberleşmektedir.

Düğümlerin ürettiği veriler IEEE 802.15.6 protokolü sayesinde koordinatör düğümde (HUB) toplanıp önem sırasına göre sıralanırken HUB\_0 kendi GPS'i sayesinde koordinatlarını elde ederek komşu HUB'lara göndermektedir. Senaryodaki diğer HUB'lar da kendi GPS'lerinden koordinatlarını alarak aynı şekilde komşularına göndermektedirler. HUB'lar birbirlerine olan mesafeyi komşu HUB'lardan gelen koordinat bilgileri ile hesaplayıp yönlendirme tablolarını

güncellemektedirler. Böylece her HUB kendine en yakın HUB'ı tespit edip yönlendirme algoritması sayesinde HUB\_0'dan gelen sekiz düğümün verilerini ağ geçidine ulaştırmaktadırlar. Ağ geçidi HUB'lar tarafından gönderilen sağlık verilerinin toplandığı ve işlendiği sağlık birimi bilgisayar olarak düşünülmüştür. Şekil 5.3'de ilk senaryonun Riverbed benzetim ortamı Çizelge 5.1 birinci senaryo için benzetim parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Senaryo 1 için benzetim parametreleri.

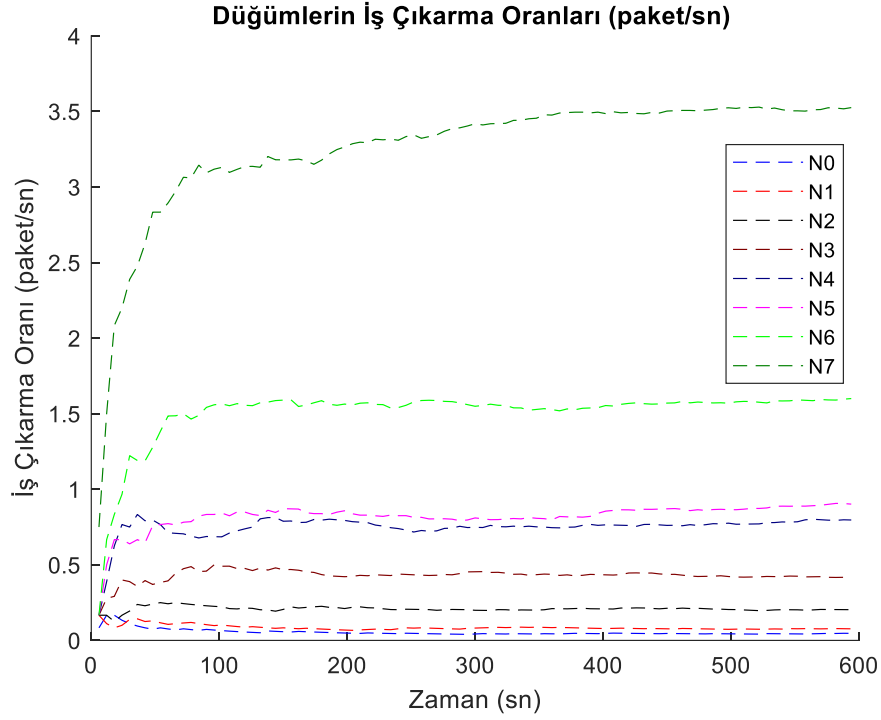
Parametre	Değer
Benzetim süresi	600 s
Frekans	2400 - 2483.5 GHz
Bant genişliği	1 MHz
Algılayıcı ve HUB düğüm sayısı	3 HUB+ 8 düğüm+1 ağ geçidi
Protokol	KVAA-İçi IEEE 802.15.6 KVAA-Arası Coğrafi Tabanlı Yönlendirme
Paket boyutu	100 bayt
Veri hızı	971.4 kbps
Başlangıç enerji değeri	34600 Joule
Eşik enerji değeri	2 J



Şekil 5.3. İlk senaryonun Riverbed benzetim ortamı.

Açgözlü ve yüz yönlendirme protokollerinin birlikte kullanıldığı algoritmaların işleyişi şu şekildedir; öncelikle açgözlü yönlendirme modunda başlar ve ardından geçerli düğüm hedeften kendisinden daha yakın bir komşu bulamadığında yüz yönlendirmesine geçer. Açgözlü yönlendirme genellikle yüz yönlendirmesinden daha verimlidir. Bu sebeple açgözlü modda mümkün olduğu kadar fazla yönlendirme yapılması istenmektedir. Bununla birlikte, tam olarak ne zaman açgözlü moda geri döneceği önemlidir. Çok erken geçiş yapılması durumunda başka bir yerel maksimum ile karşılaşılabilir. Bunların yanı sıra çok geç geçiş yapılması yönlendirme işleminin daha verimsiz olan yüz modunda gerçekleştirildiği anlamına gelmektedir [2].

Yukarıda belirtilen iş ve işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ve çalışmanın başarımlarını analizini yapabilmek için ilk olarak iş çıkarma sonuçları incelenmiştir. Başarılı bir şekilde saniyede hedefe ulaştırılan paket sayısı, iş çıkarma oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 5.4'de sekiz farklı düğümden gelen ve ağ geçidine ulaşan iş çıkarma oranları verilmektedir.



Şekil 5.4. İlk senaryonun iş çıkarma oranları.

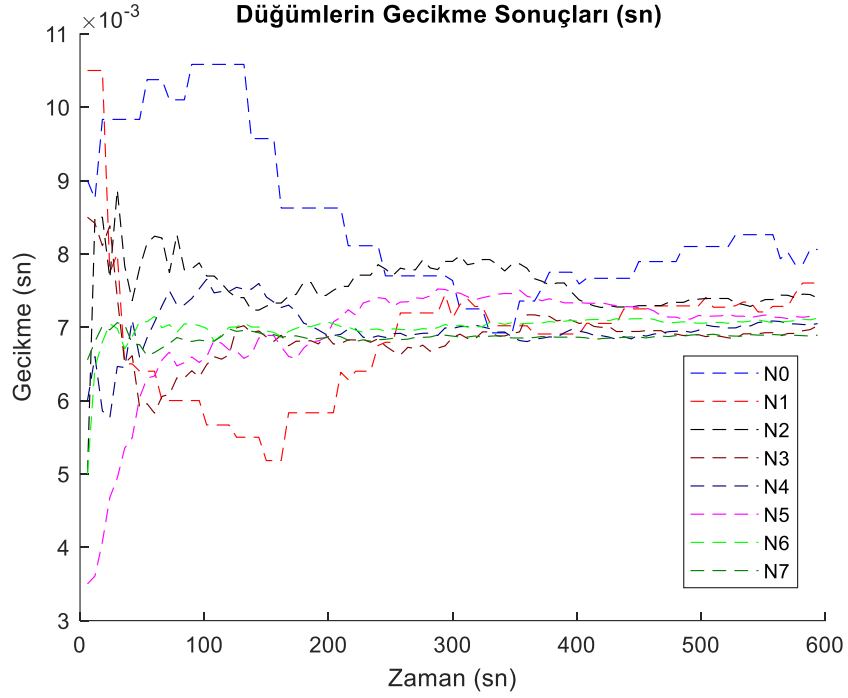
İlk senaryoda düğümlerden üretilen paketler önce HUB\_0'a oradan en yakın HUB olan HUB\_1'e iletilmiştir. Gelen paketler HUB\_1'e en yakın HUB olan HUB\_2'ye gönderilmektedir. Sonuç olarak HUB\_2, ağ geçidi'e en yakın HUB olduğu için HUB\_2 üzerinden ağ geçidi'e paketler ulaşmaktadır. Coğrafi tabanlı yönlendirme algoritması tasarlanırken algoritmanın sonsuz döngüye girmesi ve aynı HUB'lara tekrar tekrar iletilmesinin de önüne geçilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 5.1'de verilen benzetim parametreleri incelendiğinde en çok paket üreten düğümün en öncelikli düğüm olan N7 olduğu görülmektedir. Üretilen paket sıklığı N7'den N0'a doğru azaldığı için N7'nin iş çıkarma oranının en yüksek olması ve bu oranın N0'a doğru azalması beklenmektedir. Şekil 5.4' de görüldüğü gibi iş çıkarma oranı N7'de en yüksek olup N0'a doğru azalmaktadır.

Bir başka başarımlar parametresi olarak gecikme sonuçları için sekiz farklı düğümden üretilen paketler kendi kuyruk yapılarında bir süre bekledikten sonra HUB\_0' gönderilmektedir. Gecikme, bir paketin üretildiği zamandan hedefte alındığı zamana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu senaryoda alınan paketler öncelik durumlarına göre diğer HUB'lara gönderilip ulaştıkları her HUB'da önceliklerine göre tekrar diğer HUB'lara gönderilmektedirler.

2.4 GHz frekans bandında birçok düğüm çalıştığı için CSMA/CA ortam erişim tekniği kullanılmıştır. Elektronik cihazların aynı ortamı kullanmasından dolayı zaman zaman ortam

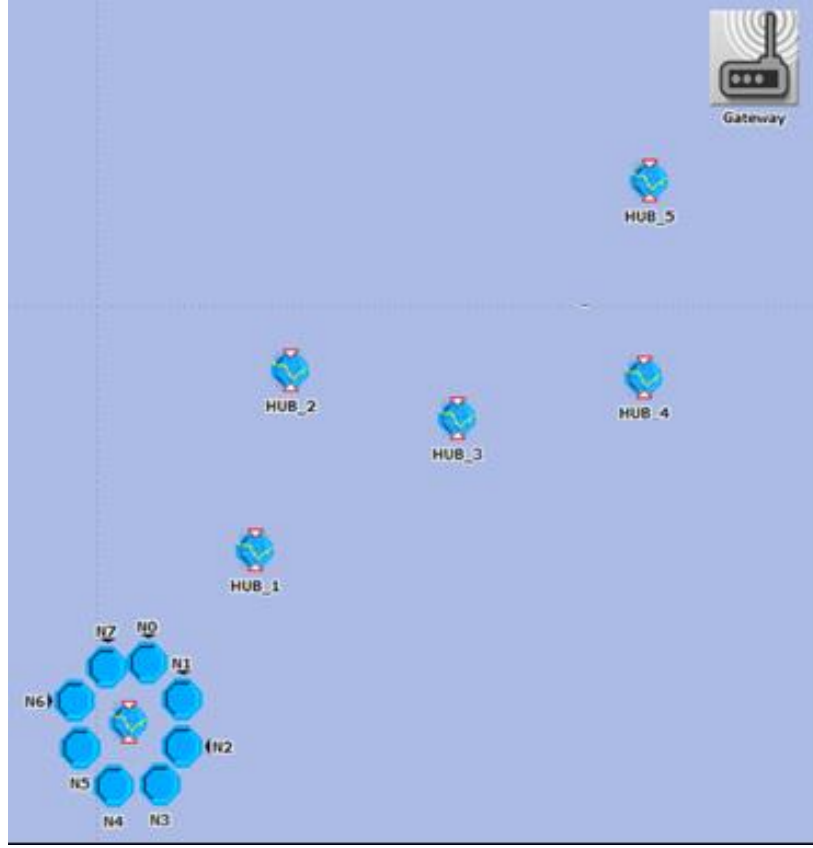
meşgul olabilir. Bu sebeple düğüm gecikmelerinde değişiklikler olabilir. Şekil 5.5’de sekiz düğümün veri gönderiminden paketlerin ağ geçidi’ne ulaşmasına kadar geçen gecikme süreleri verilmiştir.



Şekil 5.5. İlk senaryonun gecikme sonuçları.

### 5.2.2. Senaryo 2

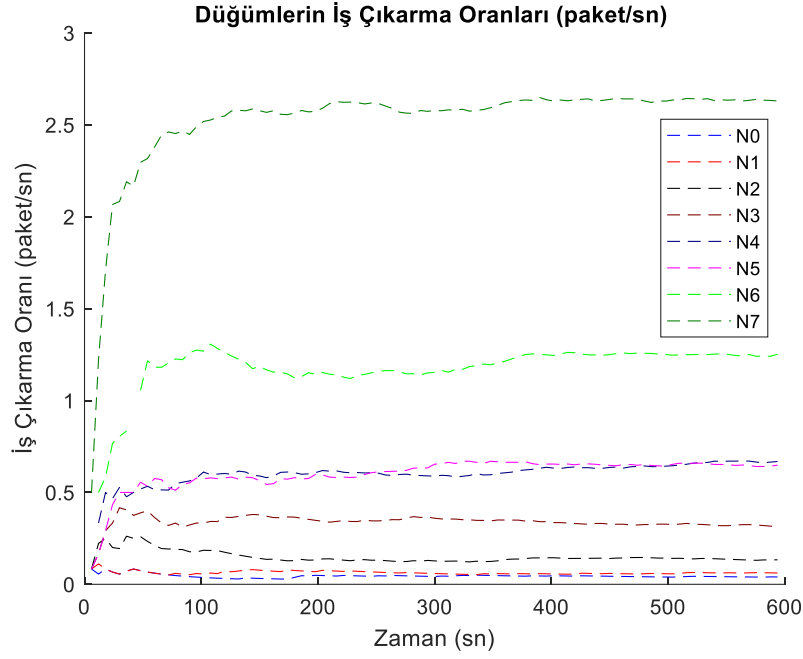
İkinci senaryoda koordinatör düğüm sayısı iki kat artırılarak tasarlanan iş çıkarma oranı, benzetim ortamının başarımı ve gecikme parametreleri incelenmiştir. Şekil 5.6’de ikinci senaryonun Riverbed Modeler benzetim ortamındaki görseli verilmiştir.



Şekil 5.6. İkinci senaryonun Riverbed benzetim ortamı.

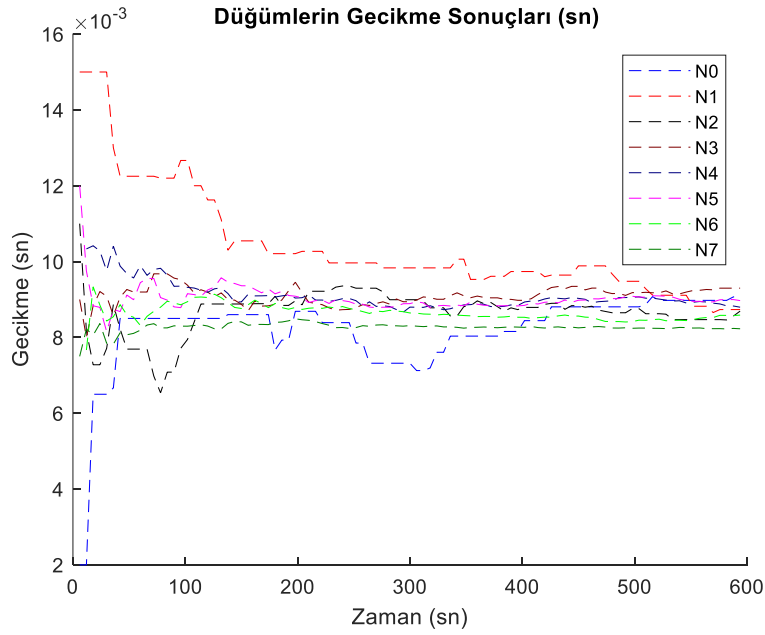
Çizelge 5.2. Senaryo 2 için benzetim parametreleri.

Parametre	Değer
Benzetim süresi	600 s
Frekans	2400 - 2483.5 GHz
Bant genişliği	1 MHz
Algılayıcı ve HUB düğüm sayısı	6 HUB+ 8 düğüm+1 ağ geçidi
Protokol	KVAA-İçi IEEE 802.15.6 KVAA-Arası Coğrafi Tabanlı Yönlendirme
Paket boyutu	100 bayt
Veri hızı	971.4 kbps
Başlangıç enerji değeri	34600 Joule
Eşik enerji değeri	2 J



Şekil 5.7. İkinci senaryonun iş çıkarma oranları.

Şekil 5.7’de ikinci senaryonun iş çıkarma oranı grafiği verilmiştir. İlk senaryo ile karşılaştırıldığında atlanacak HUB sayısı arttığından dolayı bu oranlar her bir düğüm için bir miktar düşmüş olduğu görülmektedir. N7’den N0’a sekiz farklı düğümde üretilen paketlerin üretim sıklıkları ve öncelikleri azaldığı için iş çıkarma oranları düştüğü verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 5.8. İkinci senaryonun gecikme sonuçları.

Şekil 5.8’da ikinci senaryonun gecikme sonuçları verilmiştir. Bu senaryoda beklenen atlanacak HUB sayısı arttığı için gecikme sonuçlarının da artması ve önceliği düşük olan düğümlerin gecikme sürelerinin daha fazla olması durumudur. Benzetim sonuçlarında alınan grafiklerde önceliği düşük olan düğümlerin gecikme sürelerinin yüksek olana kıyasla daha fazla olduğunu ve bir önceki senaryo ile karşılaştırdığımızda HUB sayısındaki artış ile gecikme sonuçlarının arttığı gözlemlenmektedir.

### **5.3. COĞRAFİ TABANLI YÖNLENDİRME ALGORİTMASI VE AODV YÖNLENDİRME ALGORİTMASI**

Bu bölümde AODV yönlendirme algoritmasının özellikleri açıklanacaktır. Her algılayıcı düğüm algıladığı verileri bağlı olduğu koordinatör düğüme, koordinatör düğüme topladığı bu verileri ağ geçidine göndermektedir. Gönderilen bu veriler doğrudan ilgili sağlık birimleri tarafından görüntülenebilmektedir.

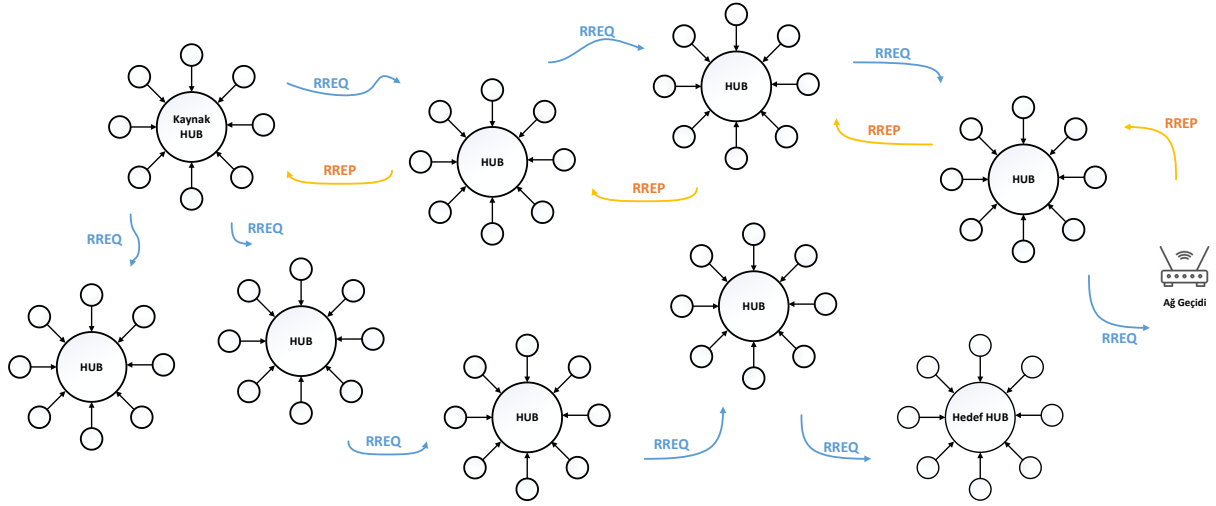
Kapalı ortamlarda ya da ağ geçidinin tek olduğu durumlarda diğer bir deyişle ağ geçidi kapsama alanında olamaması durumunda, koordinatör düğümler birbiri üzerinden verileri ağ geçidine göndererek iletimi sağlarlar. Bu tür durumlarda çözüm olarak KVAA-arası haberleşme AODV yönlendirme algoritması sayesinde gerçekleştirilebilmektedir.

AODV yönlendirme algoritmasının özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Bir ağın oluşabilmesi için düğümler arasında kendi kendine başlayabilen bir yönlendirme sağlamaktadır.
- Reaktif, dinamik ve çok atlamalı yönlendirme algoritmasıdır.
- Her bir rota için eklenecek hedef adres bilgisi ile birlikte talep eden düğümlere gönderilen tüm rota bilgilerinden oluşan hedef sıra numarası kullanmaktadır.
- Hedef sıra numaralarını kullandığı için döngüye girmemeyi garanti eder. Bu da yönlendirme protokolünün tasarlanmasını kolaylaştırır.
- Rota isteğinde bulunan bir düğüm; iki rota arasındaki seçimi en büyük sıra numarasına sahip olanı seçerek yapmaktadır.

AODV yönlendirme algoritmasının işleyişi bir kaynaktan bilinmeyen bir hedefe doğru iletilecek veriler olması durumunda o hedef için bir RREQ paketi yayınlayarak başlamaktadır. Her RREQ paketi alındığında kaynağın temel alındığı bir rota oluşturulur. RREQ paketi alıcı düğüm daha

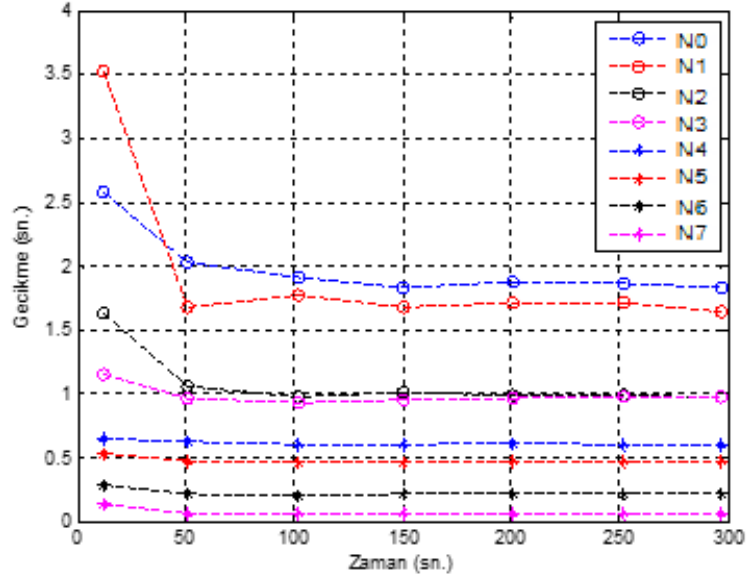
önce bu RREQ paketini almamışsa, hedef değilse ve hedefe giden geçerli bir rotası yoksa yeniden yayınlanır. Alıcı düğüm hedefse veya hedefe giden geçerli bir rotaya sahipse RREP paketini oluşturmaktadır. Her ara düğüm hedefe bir yol oluşturarak kaynak düğüm RREP paketini aldığı anda, hedefe giden yolu kaydeder. Bu sayede kaynaktan hedefe doğru veri gönderilmeye başlanmaktadır. Eğer düğüm tarafından birden fazla RREP paketi alınmışsa en kısa atlama sayısına sahip rota seçilmektedir. Bu işlemler ile ilgili görsel Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. AODV RREQ ve RREP paketleri ile rota bulma.

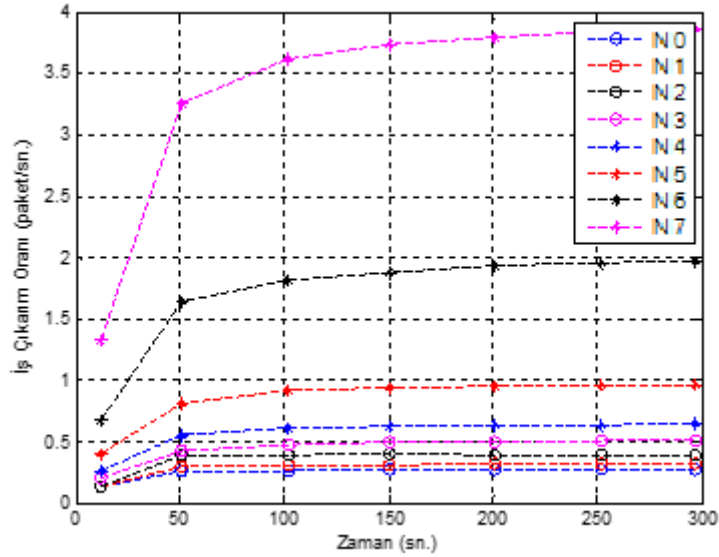
Coğrafi yönlendirmede, kaynaktan hedefe iletişim kurmak için konum bilgileri kullandığı için ağdaki her düğüm kendi konum bilgisini her zaman bilmektedir ve komşu düğümlerin konum bilgileri periyodik paket alışverişleri yoluyla toplanmaktadır [51].

AODV ve coğrafi yönlendirme algoritmaları arasındaki en temel fark kullanım ortamlarında AODV iç mekanlarda daha verimli olurken coğrafi yönlendirme algoritması dış mekanda daha verimli olmasıdır. Coğrafi yönlendirme açık alanda iletişim için kullanılırken AODV yönlendirme kapalı ortamlarda ya da ağ geçidinin tek olduğu durumlarda kullanılacak şekilde tasarlanmaktadır.



Şekil 5.10. Senaryo 2 için HUB1'e bağlı düğümlerin gecikme sonuçları.

Şekil 5.10'da elde edilen sonuçlara göre yine öncelikler arasında gecikme farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bunun temel nedeninin çekişme penceresi aralıkları olduğu bilinmektedir. Ancak ilk senaryomuzdaki gecikme sonuçları ile karşılaştırıldığında farklı öncelikler için gecikme değerlerinin bir miktar yükseldiği gözlemlenmiştir. Buradaki temel neden AODV yönlendirme algoritmasının çalışma prensibiyle ilgilidir.



Şekil 5.11. Senaryo 2 için HUB1'e bağlı düğümlerin iş çıkarma sonuçları.

Senaryo 2 de belirtilen ortamda olduğu gibi 6 HUB ve bir ağ geçidi olan ile AODV yönlendirme algoritmasının performans analizleri verilmiştir. İş çıkarma oranı saniyede başarılı bir şekilde

hedefe ulaştırılan paket sayısı anlamına gelmektedir. Şekil 5.11’de sekiz farklı düğümde gelen ve ağ geçidinde ulaşan iş çıkarma oranları verilmektedir. En yüksek önceliğe sahip UP7’nin iş çıkarma oranı diğer düğümlere göre yüksektir. Coğrafi yönlendirme algoritmasında aynı yoğunlukta olan ikinci senaryoda farklı paket gelişler arası süreye sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarma oranlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu da AODV algoritmasını daha karmaşık olan rota bulma algoritmasından kaynaklanmaktadır.

IEEE 802.15.6 standardında da ifade edildiği üzere belirli bir mesafe içinde KVAA düğüm grubunun artması ile daha fazla farklı öncelikli algılayıcı düğümlerin ortama erişmeye çalışmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle de iş çıkarma oranında öncelik seviyelerine göre düşüşler gerçekleştiği benzetim sonuçlarında görölmektedir.

Buradaki temel sebep ara düğümlerdeki farklı öncelikli algılayıcı düğümlerin kaldırılması ve AODV yönlendirme algoritmasının en uygun rotayı bulması sayesinde gerçekleşmiştir. IEEE 802.15.6 standardında belirli bir mesafe aralığında KVAA düğüm grubu sayısının artması paket kayıpları ve parazit problemlerine sebep olmaktadır. Bu bağlamda daha yoğun senaryolarda performans sürekli azalmaktadır.

#### **5.4. KVAA İÇİN COğRAFI YÖNLENDİRMELİ İoT TABANLI GPS DESTEKLİ GÖZETİM SİSTEMİ**

Dünya çapındaki pandemi durumları ölkeleri enfeksiyondan korumak için ortaya çıkan ciddi kaynak kıtlığına, tedavi süreçlerinde yüksek sağlık hizmeti maliyetlerine ve tehlikeli koşullara yol açmaktadır. Tıbbi sağlık için yetersiz kaynaklar nedeniyle hastane doluluk oranları sürekli artmaktadır. Evde kalma emirleri, tecrit, karantina gibi kitlesel ev hapsi direktifleri pandemi süresince sıklıkla karşılaştığımız durumlardır. E-sağlık ekipmanına sahip uzaktan sağlık izleme ve gözetim sistemleri, bu tür pandemik durumlarda önemli rol oynar.

Bir pandeminin yayılmasını önlemek, pandemik hastaları tedavi etmek kadar önemlidir. COVID-19 pandemisi, şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs 2'nin (SARS-CoV-2) neden olduğu 2019 koronavirüs hastalığının (COVID-19) devam eden salgınıdır.

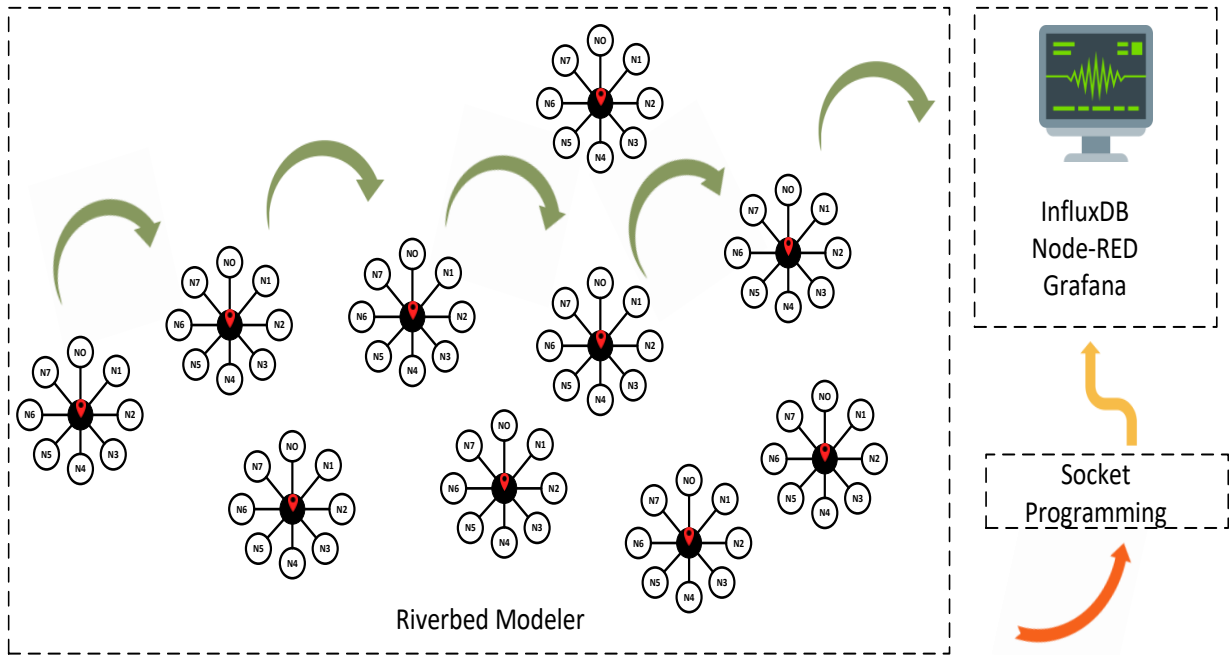
Önerilen gözetim sistemi sistemi, COVID-19 pandemisi için kullanılabilir. Yaygın koronavirüs semptomları; ateş, kuru öksürük, yorgunluk, nefes darlığıdır. Vücut düğümleri tarafından algılanan solunum hızı, vücut ısısı, kan basıncı, oksijen satürasyonu, kalp atış hızı işaretleri dikkate alınarak hastalıkla ilgili bir sonuca ulaşılabilir. Temel olarak bir virüsün bir insanı hasta edebilmesi için

belli bir yoğunlukta virüsle temas etmesi gerekmektedir. Araştırmalara göre maske takmak, hastalığın yayılmasına ciddi anlamda engelleyebilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda pandemi için e-Sağlık gözetim sistemi oluşturulmuş olup, bölgedeki kişilerin sağlık koşulları, sosyal mesafeler ve maske takma durumu açısından izlenebilmesi IoT yazılımı kullanarak sağlanmıştır. Çalışmamız bu artılardan dolayı literatürde bir ilktir.

Bu nedenle KVAA-arası coğrafi yönlendirme algoritması ile özellikle koronavirüs pandemisine yönelik bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüzde koronavirüs semptomları izlenebilmekte ve kişilerin maske takma durumuyla sosyal mesafesi görüntülenebilmektedir.

Önerilen sistem iki ana bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen Riverbed Modeler'da modellenmiş olan ve benzetim sonuçları paylaşılan coğrafi tabanlı KVAA mimarisidir. Bu bileşen sistemin ağ bölümünü oluşturur ve gelişmiş coğrafi yönlendirme algoritmasına sahip IEEE 802.15.6 protokol tabanlı KVAA' lara sahiptir. İkinci bölüm InfluxDB, Node-RED ve Grafana IoT yazılımlarından oluşmaktadır.

Sistemin ilk bileşeninden toplanan veriler InfluxDB ve Node-RED programları aracılığıyla veri tabanına kaydederek ağdan gelen veri tabanındaki verileri Grafana'da görselleştirir. Soket programlama ile iki bileşen birleştirilmiştir. Bu bileşenler daha gerçekçi performans analizi için aynı anda çalışmaktadır. Bileşenler arasındaki ilişki Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Önerilen sistemin ağ benzetimi parçaları.

Bu gözetim sisteminde özellikle pandemi durumlarında kontrol altında tutulması gereken parametreleri gösterir. KVAA düğümleri ile koronavirüs semptomlarını tespit edebileceğimiz solunum hızı, vücut ısısı, kan basıncı, oksijen satürasyonu ve kalp atış hızı gibi veri paketlerini oluşturur ve bunları KVAA-içi iletişimde koordinatör düğüme gönderir. Öncelikler en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla solunum hızı, vücut ısısı, kan basıncı, oksijen satürasyonu ve kalp hızı olarak kategorize edilir. Ayrıca önerdiğimiz gözetim sisteminde kişilerin maske taktığını anlamak için nem seviyesi kontrol edilir ve en yakın komşu düğüm ile aralarındaki mesafe ölçülerek ara yüze yansır. Bir sağlık personeli, doktor veya gözetmen Şekil 5.13'de görüldüğü gibi bir arayüzle sağlık verilerini takip edebilmektedir.



Şekil 5.13. Grafana'da tasarlanan benzetim arayüzü.

Bir maskeyi tespit etmek için bir standart olmamasına rağmen literatürde sıklıkla görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Önerdiğimiz bu sistemi sıcaklık ve nem algılayıcısı (Arduino ile DHT11 algılayıcı) gibi bazı uygulamalarla test edilmiştir. Deneyler maskeli ve maskesiz olarak yapılmıştır. Bir kişinin maske olmadan ve maskeliyken ağzının yakınındaki sıcaklık ve nem oranı Çizelge 5.3’de verilmiştir. Oda sıcaklığı ve nem oranı sırasıyla 28 ° C ve % 58 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.3.Maskeli ve maskesiz ölçülen sıcaklık ve nem değerleri.

Maskeli		Maskesiz	
Sıcaklık	34 ° C	Sıcaklık	32 ° C
Nem	% 95	Nem	% 50

Algılayıcılardan ölçülen sonuçlar incelendiğinde, nem, maske takma durumundaki baskın faktör olduğu açıktır. Bu nedenle, maske durumunu tespit etmek için maskesinin içindeki nem oranı kullanılmıştır.

Arayüz programında InfluxDB, Node-RED ve Grafana olarak mevcut IoT yazılımları kullanılmaktadır. KVAA için coğrafi tabanlı yazılımını kullanarak bir ağ tasarlanmıştır. Veritabanı işlemleri için açık kaynaklı bir zaman serisi veritabanı olan InfluxDB’yi kullanılmaktadır. Riverbed Modeller'den alınan yukarıda belirtilen veriler InfluxDB'ye kaydedilmektedir. Riverbed Modeller'dan veri almak için socket programlama kullanılmaktadır. Tarayıcı tabanlı bir akış düzenleyici olarak Node-RED programlama aracı kullanılmaktadır. InfluxDB ve Grafana bağlantıları, kullanıcı dostu olan Node-RED aracılığıyla sağlanır. Son olarak, Şekil 5.13’de görülebileceği gibi, görselleştirilmiş arayüz Grafana’da gerçekleşmiştir. Grafana, veritabanında depolanan verileri sorgulamamıza, görselleştirmemize, uyarılarla pandemide risk olabilecek vücut sıcaklığındaki yükseliş, sosyal mesafenin ihlali, maske takmamak, oksijenlenme azlığı, kan basıncı ve kalp atış hızındaki ani değişimler gibi durumları anlamamıza olanak tanır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KVAA mimarisi, insanlar için uzaktan sağlık izleme, askeri uygulamalar ve spor aktiviteleri gibi işlevine göre kişinin/hastanın sağlığındaki olumsuz değişiklikleri tıbbi sunucuya taşınacak elektrik sinyallerine dönüştürmek için iyi bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. KVAA'lar sağlık hizmetlerinin kalitesini ve verimliliğini büyük ölçüde arttırmıştır. Son yıllarda bireyler hakkında hassas tıbbi bilgileri toplamak için kullanılan cihazların önemi büyük ölçüde artmıştır. Her geçen gün daha çok talep gören KVAA mimarisi için bu talebin karşılanabilmesi amacıyla özel geliştirilmiş IEEE 802.15.6 standardını destekleyen donanımlara ve yeni çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

KVAA için coğrafi tabanlı ağ mimarisi, yönlendirme kararları vermek için konum verilerinin kullanılması nedeniyle bağlam farkındalığının daha geniş bir alanının bir parçasıdır. Coğrafi yönlendirme topoloji bakım ihtiyacını ortadan kaldırmanın yanı sıra benzer şekilde rota talep mesajlarının kullanılmasını da önler. Bu amaçla, yüksek hareketlilik seviyelerini destekleyen ölçeklenebilir, yoğun, güvenli ve enerjiye duyarlı özel kablosuz vücut alan ağları oluşturmak için coğrafi yönlendirme iyi bir çözüm olarak sunulur.

Bu tez çalışmasında, KVAA-arası haberleşmede coğrafi yönlendirme algoritması kullanılarak farklı yoğunluk ve önceliklere sahip senaryolar için gecikme ve iş çıkarma oranları incelenmiştir. KVAA'lar için bir standart haline gelen IEEE 802.15.6 KVAA-içi haberleşmede, coğrafi yönlendirme algoritması ise KVAA-arası haberleşmede kullanılmıştır. Bu protokoller Riverbed Modeller benzetim yazılımında gerçekleştirilmiştir. Buradan toplanan veriler socket programlama ile InfluxDB ve Node-RED veri tabanına kaydedilerek Grafana arayüzünde görselleştirilmiştir. Grafana'da tasarlanan gözetim sistemi arayüzü özellikle pandemi durumlarında kontrol altında tutulması gereken maske takma durumu, en yakın kişiye uzaklık, kan basıncı, kalp atış hızı, SpO<sub>2</sub>, vücut sıcaklığı ve solunum sayısı gibi parametreler anlık olarak kontrol edebilme imkanı sunmaktadır.

KVAA-içi haberleşme için ISO/IEEE 11073 kişisel sağlık veri standardının tanımladığı servis kalite gereksinimlerinin karşılandığı tespit edilmiştir. Algılayıcı düğümler ile HUB düğümü arasındaki iletişim için CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 standardı üzerine inşa edilmiş bir KVAA mimarisinin performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

KVAA-arası haberleşme için coğrafi tabanlı, açgözlü ve yüz yönlendirme algoritmalarından avantajlı olanın öncelikli kullanıldığı hibrit bir yapı tasarlanmıştır. Coğrafi yönlendirme konum bilgisine dayanarak iletim sağlayan bir yönlendirme şeklidir. Bu sebeple koordinatör düğümler GPS donanımına sahiptir. Açgözlü yönlendirme kaynaktan hedefe ağdaki her iletimi en yakın komşuyu tespit ederek yapan, anlaşılması ve uygulaması kolay olan verimli bir yönlendirme şeklidir. En önemli dezavantajı iletim yapacak olan düğüm kendisine yakın bir komşu bulamadığında paketi yok eder. Bu da iletimin kopması gibi ciddi sorunlara neden olmaktadır. Bu aşamada iletimde mesaj iletimini kanıtlanabilir şekilde garanti eden yüz yönlendirme algoritması devreye girmektedir. Yüz yönlendirme algoritması açgözlü yönlendirme algoritmasına kıyasla daha verimsiz olduğu için iletim şartları açgözlü yönlendirmeye uygun olduğunda paketler en kısa sürede en yakın komşuya iletim yapan açgözlü yönlendirme ile iletmeye devam eder.

Son olarak, 2.4 GHz 'de IEEE 802.15.6 protokolünde çalıştığı için IP tabanlı ağlarla uyumlu olan ve öncelik parametrelerine göre dinamik olarak iletim yapabilen bir KVAA tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın HUB düğümü olarak en uygun algılayıcı düğümü seçebildiğini göstermektedir. Kablosuz vücut alan ağlarında coğrafi tabanlı farklı yoğunluklarda iki ağ tasarlanarak gecikme ve iş çıkarma oranları parametreleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca iç mekanda daha verimli çalışabilecek AODV algoritması da senaryo 2 için analiz edilmiştir.

Tasarlanan ağ socket programlama yardımıyla özellikle pandemi süreci düşünülerek kontrol altında tutulması gereken parametrelerle Grafana arayüz programında görselleştirilmiştir. Açık ortamlarda insan topluluklarının uzaktan sağlık izlemeleri tasarlanan bu arayüz ile gerçekleştirilmiş olacak ve çeşitli uyarı, önleme, teşhis ve tedavi süreçlerinde kullanılabilir.

Sonuç olarak KVAA için coğrafi tabanlı ağ mimarisi; koordinatör düğümlerinin iletim rotalarının gerçek zamanlı olarak değiştirilerek gerçek zamanlı olarak programlanabilmesine, bir ağ ara yüz programı ile birlikte çalışarak verilerin görselleştirilmesine, sınırlı hafıza ve enerji kaynakları olan koordinatör düğümlerinin verimli bir şekilde veri iletimine, paylaşılan kablosuz ağ ortamının daha etkili ve verimli kullanılmasına olanak sunmuştur.

IoT, e-sağlık uygulamaları için daha güçlü seçenekler sunar. Bu sebeple multidisipliner çalışmalar ile e-Sağlık sistemlerinin verimliliği artırılabilir. Gelecekteki çalışmalar için, koordinat verilerinin yanında yönlendirme algoritması için SNR (Signal to noise ratio) gibi farklı parametrelerin de işleme katılması ile yapay zekâ tabanlı yönlendirme algoritmalarının tasarlanması amaçlanmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] DSÖ. (2011, 15 Şubat). *Dünya Engellilik Raporu*. Erişim: <https://static.ohu.edu.tr/uniweb/media/portallar/engelsizuniversite/duyurular/1345/diwnu3i5.pdf>.
- [2] F. Cadger, K. Curran, J. Santos, ve S. Moffett, “A survey of geographical routing in wireless Ad-Hoc networks”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 15, sayı 2, ss. 621–653, 2013.
- [3] E. Kranakis, H. Singh, ve J. Urrutia, “Compass routing on geometric networks,” *Proc. 11 Th Canadian Conference on Computational Geometry*, Canada, 1999.
- [4] F. Kuhn, R. Wattenhofer, ve A. Zollinger, “An algorithmic approach to geographic routing in ad hoc and sensor networks”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, c. 16, sayı 1, ss. 51–62, 2008.
- [5] B. Karp ve H. T. Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for wireless networks,” *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, New York, USA, 2000.
- [6] P. Karkazis, H. C. Leligou, T. Orphanoudakis, ve T. Zahariadis, “Geographical routing in wireless sensor networks,” *International Conference on Telecommunications and Multimedia*, Greece, 2012.
- [7] D. B. Johnson ve D. A. Maltz, “DSR : The Dynamic Source Routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks”, *Computer Science Department Carnegie Mellon University Addison-Wesley*, ss. 139–172, 1996.
- [8] J. Liu, W. Guo, B. L. Xiao, ve F. Huang, “A scalable location service for geographic ad hoc networks”, *IEEE International Conference on Mechatronics & Automation (ICMA)*, Ontario, 2005.
- [9] Y. J. Kim, R. Govindan, B. Karp, ve S. Shenker, “On the pitfalls of geographic face routing”, *DIALM-POMC Proceedings of the 2005 Joint Workshop on Foundations of Mobile Computing*, ss. 34–43, 2005.
- [10] B. Leong, B. Liskov, ve R. Morris, “Geographic Routing without Planarization,” *3rd Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, San Jose, CA, United States, 2006.
- [11] X. Shi ve K. Liu, “A contention-based beaconless geographic routing protocol for mobile ad hoc networks”, *3rd International Conference on Communications and Networking*, China, 2008.
- [12] D. Yang, X. Li, R. Sawhney, ve X. Wang, “Geographic and energy-aware routing in Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, c. 4, sayı 2, ss. 61–70, 2009.
- [13] B. Peng, A. H. Kemp, ve H. K. Maheshwari, “Impact of location errors on energy-efficient geographic routing in wireless sensor networks”, *15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Shanghai, China, 2009.

- [14] B. Zhou, A. Tiwari, K. Zhu, Y. Lu, M. Gerla, A. Ganguli, B. Shen ve D. Krzysiak, “Geo-based inter-domain routing (GIDR) protocol for MANETs,” *Military Communications Conference (MILCOM)*, Boston, USA, 2009.
- [15] D. Ben Arbia, M. M. Alam, R. Attia, ve E. Ben Hamida, “Behavior of wireless body-to-body networks routing strategies for public protection and disaster relief,” *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking And Communications (WiMob)*, Abu Dhabi, UAE, 2015.
- [16] W. Almobaideen, R. Krayshan, M. Allan, ve M. Saadeh, “Internet of Things: geographical routing based on healthcare centers vicinity for mobile smart tourism destination”, *Technological Forecasting and Social Change*, c. 123, ss. 342–350, 2017.
- [17] J. J. Cheng, G. Y. Yuan, M. C. Zhou, S. C. Gao, Z. H. Huang, ve C. Liu, “A connectivity prediction-based dynamic clustering model for VANET in an urban scene”, *IEEE Internet Things Journal*, c. 4662, sayı c, ss. 1–1, 2020.
- [18] D. Wang, Q. Huang, X. Chen, ve L. Ji, “Location of three-dimensional movement for a human using a wearable multi-node instrument implemented by wireless body area networks”, *Computer Communication*, c. 153, sayı Ocak, ss. 34–41, 2020.
- [19] Z. Qian ve F. Zhang, “An reactive void handling algorithm in sensor networks and IoT emergency management”, *Computer Communications*, c. 153, sayı Mart, ss. 34-41, 2020.
- [20] 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. 41-52, 2019.
- [21] X. Luo, L. Liu, J. Shu, ve M. Al-Kali, “Link quality estimation method for wireless sensor networks based on stacked autoencoder”, *IEEE Access*, c. 7, ss. 21572–21583, 2019.
- [22] J. Park, “Bio-inspired approach for inter-WBAN coexistence”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 68, sayı 7, ss. 7236–7240, 2019.
- [23] A. Rao, S. Ratnasamy, C. Papadimitriou, S. Shenker, ve I. Stoica, “Geographic routing without location information”, *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM)*, California, USA, 2003.
- [24] K. Peters, A. Jabbar, E. K. Cetinkaya, ve J. P. G. Sterbenz, “A geographical routing protocol for highly-dynamic aeronautical networks,” *IEEE Conference on Wireless Communications and Networking*, Cancun, Mexico, 2011.
- [25] E. Kuiper ve S. Nadjm-Tehrani, “Geographical routing with location service in intermittently connected MANETs,” *IEEE Conference on Wireless Communications and Networking*, Cancun, Mexico, 2011.
- [26] N. Yessad, M. Omar, A. Tari, ve A. Bouabdallah, “QoS-based routing in wireless body area networks: a survey and taxonomy”, *Computing*, c. 100, sayı 3, ss. 245–275, 2018.
- [27] S. Movassaghi, M. Abolhasan, ve J. Lipman, “A review of routing protocols in wireless body area networks”, *Journal of Networks*, c. 8, sayı 3, ss. 559–575, 2013.

- [28] H. Liu, F. Hu, S. Qu, Z. Li, ve D. Li, “Multipoint wireless information and power transfer to maximize sum-throughput in WBAN with energy harvesting”, *IEEE Internet Things Journal*, c. 6, sayı 4, ss. 7069–7078, 2019.
- [29] S. Kumar, S. C. Sharma, ve B. Suman, “Mobility metrics based classification & analysis of mobility model for tactical network”, *International Journal of Next-Generation Networks*, c. 2, sayı 3, ss. 39–51, 2010.
- [30] Z. Khan, N. Aslam, S. Sivakumar, ve W. Phillips, “Energy-aware peering routing protocol for indoor hospital body area network communication”, *Procedia Computer Science*, c. 10, ss. 188–196, 2012.
- [31] J. Anand ve D. Sethi, “Comparative analysis of energy efficient routing in WBAN,” *IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)*, Hindistan, 2017.
- [32] J. Yick, B. Mukherjee, ve D. Ghosal, “Wireless sensor network survey”, *Computer Networks*, c. 52, sayı 12, ss. 2292–2330, 2008.
- [33] D. M. Barakah ve M. Ammad-Uddin, “A survey of challenges and applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and role of a virtual doctor server in existing architecture,” *International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, Kota Kinabalu, Malaysia, 2012.
- [34] M. Cicioglu ve A. Calhan, “Internet of Things based firefighters for disaster case management”, *IEEE Sensors Journal*, c. 21, sayı 1, ss. 612-619, 2020.
- [35] Y. Qu, G. Zheng, H. Ma, X. Wang, B. Ji, ve H. Wu, “A survey of routing protocols in WBAN for healthcare applications”, *Sensors (Switzerland)*, c. 19, sayı 7, 2019.
- [36] F. Niaz, M. Khalid, Z. Ullah, N. Aslam, M. Raza, ve M. K. Priyan, “A bonded channel in cognitive wireless body area network based on IEEE 802.15.6 and internet of things”, *Computer Communications*, c. 150, ss. 131-143, 2020.
- [37] A. Choudhary, M. Nizamuddin, M. Zadoo, ve V. K. Sachan, “Multi-objective optimization framework complying IEEE 802.15.6 communication standards for wireless body area networks”, *Wireless Networks*, ss. 4339–4362, 2020.
- [38] S. Ullah, B. Shen, S. M. Riazul Islam, P. Khan, S. Saleem, ve K. S. Kwak, “A study of MAC protocols for WBANs”, *Sensors*, c. 10, sayı 1, ss. 128–145, 2010.
- [39] S. A. Gopalan ve J. T. Park, “Energy-efficient MAC protocols for wireless body area networks: A survey”, *China Communication*, c. 8, sayı 5, ss. 1–10, 2011.
- [40] K. S. Kwak, S. Ullah, ve N. Ullah, “An overview of IEEE 802.15.6 standard,” *International Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)*, Rome, 2010.
- [41] H.F. Rashvand, V. Traver Salcedo, E. Montón Sánchez ve D. Iliescu, “Ubiquitous wireless telemedicine”, *IET Communications*, c. 2, sayı 2, ss. 237–254, 2008.
- [42] A. Saboor, R. Ahmad, W. Ahmed, A. K. Kiani, M. M. Alam, A. Kuusik ve Y. L. Moullec, “Dynamic slot allocation using non overlapping backoff algorithm in IEEE 802.15.6 WBAN”, *IEEE Sensors Journal*, c. 20, sayı 18, ss. 10862–10875, 2020.

- [43] B. S. Kim, T. E. Sung, ve K. Il Kim, “An NS-3 implementation and experimental performance analysis of IEEE 802.15.6 standard under different deployment scenarios”, *Environmental Research and Public Health*, c. 17, sayı 11, ss. 1-31, 2020.
- [44] J. Watkins, “Preventing a covid-19 pandemic”, *British Medical Journal (BMJ)*, c. 368, sayı Şubat, ss. 1–2, 2020.
- [45] O. Alzamzami ve I. Mahgoub, “Link utility aware geographic routing for urban VANETs using two-hop neighbor information”, *Ad Hoc Networks*, c. 106, ss. 1-13, 2020.
- [46] S. A. Ade ve P.A.Tijare, “Performance comparison of AODV, DSDV, OLSR and DSR routing protocols in mobile ad hoc networks”, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, c. 2, sayı 2, ss. 545-548, 2010.
- [47] A. E. Abdallah, T. Fevens ve J. Opatrny “Hybrid position-based 3D routing algorithms with partial flooding,” *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Ottawa, 2006.
- [48] I. Leontiadis ve C. Mascolo, “GeOpps: Geographical Opportunistic routing for vehicular networks,” *IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, Finland, 2007.
- [49] A. Srivastava, A. Prakash, ve R. Tripathi, “Location based routing protocols in VANET: Issues and existing solutions”, *Vehicular Communications*, c. 23, s. 100231, 2020.
- [50] Crossbow Technology. (2018, 20 Mart). *MICAZ: Wireless Measurement System Product Datasheet* [Online]. Erişim: [http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz\\_datasheet.pdf](http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf).
- [51] R. Shirani, M. St-Hilaire, T. Kunz, Y. Zhou, J. Li, ve L. Lamont, “Combined reactive-geographic routing for unmanned aeronautical ad-hoc networks,” *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Limassol, 2012.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Seda SAVAŞCI ŞEN  
Doğum Tarihi ve Yeri :01/11/1990 - Çanakkale  
Yabancı Dili :İngilizce  
E-posta :sedasavascisen@duzce.edu.tr

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Kocaeli Üniversitesi	2015
Ön Lisans	İşletme Yönetimi	Anadolu Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Ordu Anadolu Lisesi	2008

## YAYINLAR

[1] Seda SAVAŞCI ŞEN, Murtaza CİCİOĞLU, Ali ÇALHAN " Kablosuz Vücut Alan Ağları için Coğrafi Tabanlı Yönlendirme Algoritmasının Başarım Analizi", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, c. 8, sayı 4, ss. 2480-2490, 2020