

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

**KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ  
DESTEKLİ YENİ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Abdullah SEVİN**

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ**

**Mayıs 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ  
DESTEKLİ YENİ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ

DOKTORA TEZİ

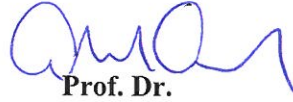
Abdullah SEVİN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
İsmail ERTÜRK  
Jüri Başkanı



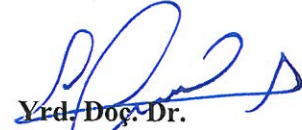
Prof. Dr.  
Celal ÇEKEN  
Üye



Doç. Dr.  
Cüneyt BAYILMIŞ  
Üye



Doç. Dr.  
Murat ÇAKIROĞLU  
Üye



Yrd. Doç. Dr.  
Süleyman ÇAKICI  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Abdullah SEVİN

03.03.2016

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında danıőmanlıęımı yaparken bilgi ve birikimlerinden yararlandığım değerli hocam Doç.Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a, tez jürimde bulunan ve fikirleriyle katkıda bulunan Prof.Dr. Celal ÇEKEN ile Doç.Dr. Murat AKIROğLU'na, tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için destek sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Koordinatörlüğü (Proje no: 2013-50-02-017 ve 2013-09-10-001) ile Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına (SANTEZ Proje No: 0200.STZ.2013-1), özellikle maddi ve manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen değerli eőim ile aileme ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY .....	xii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması .....	2
1.2. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri .....	3
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları.....	4
1.4. Tez Organizasyonu.....	4

### BÖLÜM 2.

KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARINDA SERVİS KALİTESİ.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Kablosuz Vücut Alan Ağları .....	6
2.3. Servis Kalitesi ve ISO/IEEE 11073 .....	10
2.3.1. Servis kalitesi parametreleri .....	14
2.3.2. ISO/IEEE 11073.....	16
2.4. Literatürde yer alan OEK protokolleri .....	17

### BÖLÜM 3.

KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ SAĞLAYAN YENİ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ .....	27
3.1. Giriş .....	27
3.2. Genel Mimari .....	27
3.2.1. Çalışma prensibi .....	29
3.2.2. Katmanlararası etkileşim .....	30
3.2.3. Ana-çerçeve yapısı .....	30
3.3. Çalışma Mekanizmaları .....	32
3.3.1. Öncelik atama mekanizması .....	33
3.3.2. Kanal tahsis mekanizması .....	34
3.3.3. Zaman dilimi tahsis şeması .....	35
3.3.4. Kabul kontrol mekanizması .....	36
3.4. Benzetim Modeli .....	37
3.4.1. OPNET benzetim yazılımı .....	37
3.4.2. Proje modeli .....	38
3.4.3. Düğüm modeli .....	39
3.4.4. Süreç modelleri .....	41
3.4.5. Paket biçimleri .....	45

### BÖLÜM 4.

ÖRNEK BİR AĞ BENZETİMİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ .....	49
4.1. Giriş .....	49
4.2. Benzetim Parametreleri .....	49
4.3. Başarım Değerlendirmesi .....	51
4.3.1. Senaryo-1'e ait başarım değerlendirme .....	52
4.3.2. Senaryo-2'ye ait başarım değerlendirme .....	56

### BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	60
----------------------------	----

5.1. Giriş.....	60
5.2. Öneriler.....	61
KAYNAKLAR .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\lambda$	: Kuyruktaki paket sayısı
$\mu_s$	: Mikrosaniye
$\mu_i^{t+1}$	: Kuyruk uzunluğunun eşik değeri
ACK	: Alındı Onay Paketi (Acknowledgement)
ATLAS	: A Traffic Load Aware Sensor
BER	: Bit Hata Oranı (Bit Error Rate)
$C_v$	: Değişim katsayısı
CAP	: Çekişmeli Erişim Süresi (Contention Access Period)
CSMA	: Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access)
CSMA/CA	: Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim / Çarpışmadan Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
CTS	: Gönderime uygun (Clear to Send)
ÇEF	: Çekişmeli Erişim Fazı
ÇP	: Çekişme Penceresi
d	: Gecikme
D	: Ortalama gecikme
$D_{maksimum}$	: Maksimum gecikme
DTS	: Veri İletim Zaman Dilimleri (Data Transmit Slots)
$E_{kb}$	: Kilobit başına düşen enerji
$E_{avg}$	: Ortalama enerji
EKG	: Elektrokardiyografi
ETS	: Acil Verilerin İletim Zaman Dilimleri (Emergency Data Transmit Slots)
GZD	: Garanti edilmiş zaman dilimleri
HEF	: Hazırlıksız Erişim Fazı
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of



	Electrical and Electronics Engineers)
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Organisation for Standardisation)
J	: Seğirme (Jitter)
m	: Periyot aralık sayısı
ms	: Milisaniye
KAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağlar
KVAA	: Kablosuz Vücut Alan Ağları
LDTA-MAC	: Low-Delay Traffic-Adaptive Medium Access Control
MAC	: Ortam Erişim Kontrol (Medium Access Control)
McMAC	: Multi-Constrained Medium Access Control
MEB-MAC	: Medical Emergency Body Medium Access Control
MQ-MAC	: Multi-channel Quality-based Medium Access Control
$N_A$	: Teslim edilen paket sayısı
$N_{alman}$	: Gelen paket sayısı
$N_{gönderilen}$	: Gönderilen paket sayısı
$N_N$	: Kabul edilebilen düğüm sayısı
$N_L$	: Kayıp paket sayısı
OPNET	: Optimized Network Engineering Tools
OSI	: Açık Sistemler Arabağlaşımı (Open Systems Interconnection)
QoS	: Servis Kalitesi (Quality of Service)
$P_k$	: Kuyruğun doluluk oranı
PER	: Hatalı Paket Oranı (Packet Error Rate)
PLA-MAC	: Traffic Priority and Load Adaptive Medium Access Control
PLR	: Paket kaybı oranı ve olasılığı
PNP-MAC	: Preemptive Slot Allocation and Non-Preemptive Transmission Medium Access Control
RACOON	: Random Contention-based Resource Allocation
RTS	: Gönderme isteği (Request to Send)
s	: Saniye
$S_{kb}$	: Kilobit başına düşen iş çıkarma oranı
T	: Zaman

$T_{\text{dilim}}$	: Zaman dilimi süresi
$T_{\text{ana-çerçeve}}$	: Ana-çerçeve süresi
$T_{\text{maksimum cevap}}$	: Ağın maksimum cevap verme süresi
TaMAC	: Traffic-Adaptive Medium Access Control
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
TR	: İş/zaman oranı
TZD	: Tahsis edilmiş Zaman Dilimleri
U-MAC	: Urgency-based Medium Access Control
WBANs	: Kablosuz Vücut Alan Ağları (Wireless Body Area Networks)
ZDS	: Zaman dilimi sayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. KVAA genel şeması .....	7
Şekil 2.2. KVAA algılayıcı düğüm mimarisi.....	8
Şekil 2.3. OSI referans modeli .....	9
Şekil 2.4. Basit bir servis kalitesi yapısı .....	11
Şekil 3.1. Sistemin genel çalışmasını özetleyen akış diyagramı .....	28
Şekil 3.2. Geliştirilen OEK protokolünün durum geçiş diyagramı.....	29
Şekil 3.3. Katmanlararası etkileşim .....	30
Şekil 3.4. Geliştirilen OEK protokolünde kullanılan ana-çerçeve yapısı .....	31
Şekil 3.5. Geliştirilen OEK protokolündeki erişim fazlarına ait sıralı diyagram.....	32
Şekil 3.6. Geliştirilen OEK protokolüne ait öncelik mekanizması .....	34
Şekil 3.7. Kanal tahsisi ve hata oranı düşürme mekanizması .....	35
Şekil 3.8. Kabul kontrol mekanizması .....	37
Şekil 3.9. Proje modeli .....	39
Şekil 3.10. Düğüm modelleri .....	41
Şekil 3.11. Algılayıcı düğüme ait süreç modeli .....	42
Şekil 3.12. Baz istasyonuna ait süreç modeli.....	44
Şekil 3.13. Veri paketi.....	45
Şekil 3.14. ACK paketi .....	46
Şekil 3.15. İşaret sinyali paketi .....	46
Şekil 3.16. İşaret sinyali-2 paketi.....	46
Şekil 3.17. RTS paketi .....	47
Şekil 3.18. CTS paketi .....	47
Şekil 3.19. Kurulum istek paketi.....	47
Şekil 3.20. Kurulum atama paketi.....	48
Şekil 4.1. Uçtan-uca gecikme.....	53
Şekil 4.2. Düğümlerin gecikme karşılaştırması .....	54

Şekil 4.3. Paket kaybı oranı.....	55
Şekil 4.4. Senaryo-1'e ait iş çıkarma oranı .....	56
Şekil 4.5. Ortalama paket gecikmesi.....	57
Şekil 4.6. Gecikme-duyarlı paketlere ait ortalama gecikme .....	58
Şekil 4.7. Senaryo-2'ye ait iş çıkarma oranı .....	59

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. KAA ile KVAA farkları (Ha, 2015).....	10
Tablo 2.2. Medikal uygulama sınıfları.....	17
Tablo 2.3. KVAA'lar için servis kalitesi sağlayan OEK protokolleri .....	25
Tablo 2.3. (Devamı) .....	26
Tablo 3.1. Gecikme öncelikleri.....	33
Tablo 4.1. Benzetim parametreleri.....	50
Tablo 4.2. Medikal uygulama sınıflarının gereksinimleri.....	51
Tablo 4.3. Örnek uygulamada kullanılan algılayıcılar.....	51

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kablosuz vücut alan ağları, Ortam erişim kontrol protokolü, Servis kalitesi, Katmanlararası etkileşim.

Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA) kişisel alanda kullanılan, kablosuz ortamda haberleşen, algılayıcı düğümlerin oluşturduğu ağ modeli olarak tanımlanmaktadır. KVAA'lar medikal uygulamalar başta olmak üzere çok yaygın kullanım alanına sahiptir. Özellikle medikal uygulamalardaki verilerin hayati önem taşımamasından dolayı KVAA'larda servis kalitesini sağlamak önemli bir konu haline gelmiştir. Bu yüzden KVAA'larda servis kalitesi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki yapılan çalışmaların en büyük eksikliği, bir standarda sahip olmadıklarından dolayı farklı çalışma parametrelerine sahip olmalarıdır. Değişik çalışmaların ortak bir standart ile düzenlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu probleme çözüm bulmak amacıyla, tez çalışmasında kişisel sağlık bilgisinin standardını tanımlayan, ISO (International Organisation for Standardisation) & IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) gibi dünyanın en önemli iki kurumunun desteklediği ISO/IEEE 11073 standardını esas alan bir Ortam Erişim Kontrol (OEK) protokolü geliştirilmiştir.

Tez çalışmasında, önerilen OEK protokolünün tasarımında ISO/IEEE 11073 standartlarına göre servis kalitesi desteğini sağlamak amacıyla katmanlararası mimariden yararlanılmıştır. Önerilen tez çalışmasında servis kalitesi sağlamak amacıyla yeni bir zaman-dilimi tahsis şeması, öncelik mekanizması, kabul kontrol mekanizması ve katmanlararası yapı geliştirilmiştir. Geliştirilen OEK protokolünün modellenmesi ve benzetimi OPNET Modeler yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Önerilen OEK protokolü, IEEE 802.15.4 ve IEEE 802.15.6 gibi standart haline gelmiş protokoller ve yakın zamanda literatürde sunulan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, geliştirilen OEK protokolünü diğer protokollerden uçtan-uca gecikmeye göre 5-6 kat daha az gecikme, 3-4 kata kadar daha yüksek iş çıkarma oranı elde edilmiştir ve %0.0001 paket kayıp oranı başarıyla sağlanmıştır.

# **A NEW MEDIUM ACCESS CONTROL PROTOCOL WITH QUALITY OF SERVICE SUPPORT FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS**

## **SUMMARY**

Keywords: Wireless body area networks, Medium access control protocol, Quality of service, Cross-Layer interaction.

Wireless Body Area Networks (WBANs) are defined as network model that consisting of the sensor nodes, communicating wirelessly and used in personal area. WBANs have a very widespread usage area in medical applications principally. Especially, supporting Quality of Service (QoS) has become an important issue in WBANs because of the vital importance of data in medical applications. Therefore, many studies were performed on the QoS in WBANs. The most lack of the studies in literature is having different operating parameters due to the absence of any standard. The requirement of standardization for various studies has emerged. In order to find out a solution to this problem, we present a ISO/IEEE 11073-based Medium Access Control (MAC) protocol in this thesis that standard is supporting by two large associations as ISO (International Organisation for Standardisation) & IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) and defines standard of personal health information.

In this thesis, the proposed MAC protocol utilizes a cross-layer architecture due to support QoS according to ISO/IEEE 11073 standard. In order to provide QoS, a new slot allocation scheme, a priority mechanism, an admission control mechanism and a cross-layer architecture are developed in the proposed thesis. The developed MAC protocol has been modelled and simulated by OPNET Modeler software. The proposed MAC protocol is compared to the standard technologies of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.15.6, and recent protocols that is presented in the literature. According to the evaluations, the developed MAC protocol has better results for end-to-end delay is about 5-6 times lower latency, 3-4 times higher throughput then other protocols and achieves %0.0001 packet loss ratio.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

İnsanların en kıymetli varlığı, hayatıdır. Hayata hizmet eden çalışmalar ise her zaman büyük öneme sahiptir. Kanuni Sultan Süleyman'ın "halk içinde muteber bir nesne yok devlet gibi, olmaya devlet cihanda bir nefes sıhhat gibi" sözü ise hayatımızda sağlık konusunun önemini açıkça belirtmektedir. İnsanlık tarihinde sağlık ile ilgili çalışmalar zamanla birikim halinde gelişim göstermektedir. Özellikle son yıllarda teknolojinin getirdiği yeniliklerden faydalanılarak sağlık alanında kaliteli ve verimli hizmet olanakları artmıştır. Günümüzde, kablosuz teknolojilerin gelişmesi ile sağlık hizmetlerinin birçok alanında kullanılmaya başlanmıştır. Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA) kablosuz ortamdan haberleşen, küçük algılayıcı düğümlerin oluşturduğu ağlardır. KVAA'lar, kişilerin sağlık bilgilerinin uzaktan izlenmesine olanak sağlamakla daha konforlu, verimli ve güvenilir sağlık hizmetlerinin sunulmasına yardımcı olmaktadır.

Sağlık alanında kullanılan teknolojilerdeki haberleşmede verinin güvenirliliği ve sunulan servisin kalitesi hayati öneme sahiptir. Bu yüzden KVAA'larda servis kalitesinin sağlanması her zaman öncelikli konular arasında yer almaktadır. Bu sorunu gidermek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar bir standarda göre tasarlanmadıklarından dolayı farklı çalışma parametrelerine sahiptir. Bunun sonucu olarak kullanılan teknolojiler arasında birlikte çalışabilirlik sorunu ortaya çıkmıştır.

Sunulan tez çalışması kapsamında; KVAA'lar için servis kalitesi desteğini sağlamak amacıyla bir Ortam Erişim Kontrol (OEK) protokolü geliştirilmiştir. Servis kalitesi için ISO/IEEE 11073 (International Organisation for Standardisation / Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardı esas alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde, önerilen OEK protokolü servis kalitesi gereksinimlerini



tamamen sağlamla beraber karşılaştırılan diğer protokollere göre daha yüksek başarımlar elde edilmiştir.

### 1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması

KVAA'ların genel kullanım alanı sağlık veri iletişimidir ve sağlık konusunun hassasiyetine binaen bu konudaki servis kalitesi desteği önem arz etmektedir. Sağlık alanı ve medikal uygulamaların gereksinimleri diğer endüstriyel uygulamalara göre büyük farklılıklara sahiptir. Sağlık alanında kullanılacak bir OEK protokolünde olması gereken özellikler özetle;

- Tasarlanacak olan OEK protokolünün güvenilir olması gerekmektedir. Sağlık veri iletişimde verilerin doğruluğu önemlidir. Çünkü verilerdeki bir değişiklik sonucunda oluşabilecek bir hatanın hayati sonuçları olabilmektedir.
- Öncelik tanımlanmasının yapılması gerekmektedir. Farklı trafik türlerini desteklemek için bu yapı gereklidir. Bunun yanı sıra öncelik ataması dinamik olarak atanmalıdır. Örneğin, Elektrokardiyografi (EKG) verisi sıcaklık verisinden önemlidir. Eğer vücut sıcaklığı çok yükselir ise EKG verisinden daha öncelikli olmalıdır.
- İletim ortamının kullanıcılara optimum seviyede tahsisini sağlanmalıdır. Bunun için düğümlerin özellikleri bilinmeli ve buna göre tahsis şemasının belirlenmesi gerekmektedir. Bunu yaparken de dinamik olarak ağın trafik yükü kontrol edilerek gerekli durumlarda çekişme tabanlı yapıya geçip gerekli durumlarda ise zaman bölmeli çoklu erişim (zaman dilimi tahsisli) tabanlı bir yapıya geçmesi sağlanarak kablosuz ortamın optimum seviyede tahsisi sağlanmalıdır.
- Kablosuz Algılayıcı Ağlardan (KAA) farklı olarak KVAA'larında düğüm yapılarındaki fark göz önünde bulundurularak kanal tahsisi gerçekleştirilmelidir. Örnek olarak; EKG verisini ileten düğüm ile kan basıncını ileten düğümlerin ihtiyacı olan bant genişliği farklıdır. Trafik yüküne göre ana-çerçeve yapısının

ayarlanması gerekmektedir. Dinamik olarak çekişmeli ve çekişmesiz zaman yapılarının ayarlanması gerçekleştirilmelidir. Veri paketlerinin önceliklerine göre sınıflandırılmalı ve böylece verilerin sınıflandırılması gerçekleştirilip önceliğe göre paketlerin gönderimi sağlanır.

- Ağa katılacak olan düğüm sayısının kabul kontrolünden geçirilerek dâhil edilmesi gerekmektedir. Gerekliliklerini karşılayamayacağı düğümleri ağa dâhil etmemesi gerekir. Ağdaki veri iletimi bozukluklar olmadan devam etmesi sağlanmalıdır. Ayrıca hareketlilik sonucu oluşan çok kullanıcı ortam desteği verilmelidir.

Bir OEK protokolünün servis kalitesi desteği sunabilmesi için yukarıda sayılan durumları/kriterleri sağlamalıdır. Aksi halde servis kalitesinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği garanti edilemez.

## 1.2. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri

Literatürde KVAA'larda servis kalitesi desteği sağlamak amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Servis kalitesini sağlamayı hedefleyen çalışmaların gecikme, iş çıkarma oranı, güvenilirlik ve verimlilik (enerji, bant genişliği vb.) parametrelerini göz önünde bulundurduğu görülmektedir. Bu çalışmaları erişim mekanizmalarına göre dört kısımda özetleyebiliriz; zaman bölmeli erişim tabanlı, çekişme tabanlı, sorgu tabanlı ve melez çalışmalar. Yapılan çalışmalar uygulandıkları alanın ihtiyacına göre bu erişim mekanizmalarından birini veya melez olarak birkaç erişim mekanizmasını aynı anda kullanmaktadır. Literatürdeki çalışmaların çoğunda öncelik atama mekanizması kullanılarak farklı trafik yüklerine hizmet vermesi sağlanmaktadır. Bunun yanında, çalışmaların bir kısmında kabul kontrol mekanizması oluşturularak ağın ölçeklenebilirliği kontrol altına alınabilmiştir. Bazı literatür çalışmalarında ise katmanlararası yapı kullanılarak sistemin performansı artırılarak kullanıcılara ek olanaklar sunulmuştur. Bölüm 2.4'te tez çalışması kapsamında incelenen literatür çalışmaları ayrıntılı olarak verilmektedir.

### 1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışmasında literatüre katkı olarak;

- ISO/IEEE 11073 standardını esas alarak servis kalitesi desteği sağlayan yeni bir OEK protokolü geliştirilmiştir ve ağa dâhil olan kullanıcılara servis kalitesi desteği garanti edilmiştir.
- Yeni bir öncelik mekanizması oluşturularak farklı güvenilirliğe ve trafik yüklerine destek vermesi sağlanarak ağın iş çıkarma ve gecikme başarımı geliştirilmiştir.
- Katmanlararası yapı kullanılarak fiziksel katmanla etkileşim sayesinde veri kaybı kontrol edilerek veri güvenirligi artırılmış ve uygulama katmanı etkileşimi ile kullanıcı isteklerine cevap vermesi sağlanmıştır.
- Geliştirilen zaman dilimi tahsis şeması sayesinde her bir düğüme ait servis kalitesi desteğini sağlayacak şekilde gecikme değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır.
- Kanal tahsis mekanizması ile ağın güvenirligi artırılmış ve kabul kontrol mekanizması ile de ağın ölçeklenebilirliği sağlanmıştır.

### 1.4. Tez Organizasyonu

Sunulan tez çalışmasının sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de kablosuz vücut alan ağları hakkında genel bir bilgi verilmektedir. Servis kalitesi kapsamı ile parametreleri detaylı bir şekilde açıklanmakta ve ISO/IEEE 11073 standardı anlatılmaktadır. Bundan sonrada literatürdeki servis kalitesi desteği sağlayan çalışmalar anlatılarak karşılaştırılması sunulmaktadır.

Bölüm 3’te, önerilen OEK protokolü ve çalışma prensipleri verilmektedir. Geliştirilen şema ve mekanizmalar ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Bölüm 4’te geliştirilen OEK protokolünün örnek ağ uygulamaları üzerinden başarıml değerlendirilmesi uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve paket hata oranı parametrelerine göre sunulmaktadır. Benzetim sonuçları ve başarıml değerlendirilmesi standart teknolojiler (IEEE 802.15.4 ile IEEE 802.15.6) ve literatürdeki benzer çalışmalar (PLA-MAC ile PNP-MAC) ile karşılaştırılarak sunulmaktadır.

Bölüm 5’te ise tez çalışmasında geliştirilen servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokolüne ait sonuçlar ve genel değerlendirmeler aktarılmaktadır.

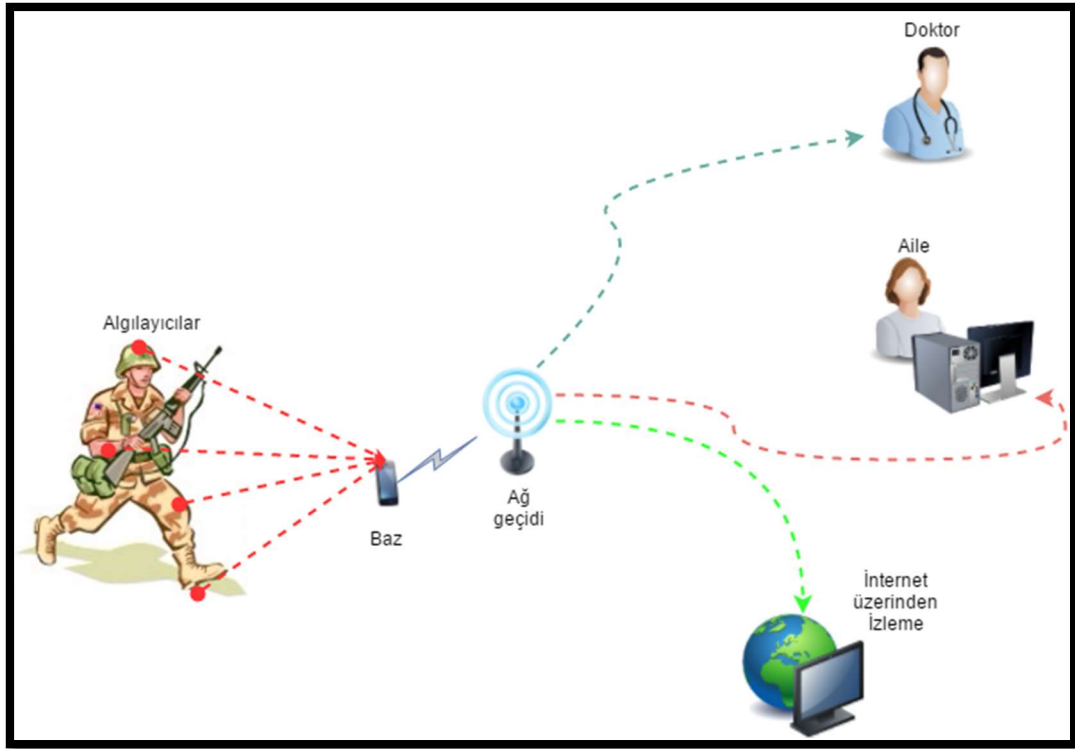
## **BÖLÜM 2. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARINDA SERVİS KALİTESİ**

### **2.1. Giriş**

Sağlık hizmetlerindeki maliyetlerin yükselmesi ve nüfuslardaki artışlar ileriye yönelik zorluklar oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak sağlık hizmetleri sanayisi ve tedarikçileri çözüm bulmaya yönelmiştir. Böylece, hastalara kişiselleştirilmiş, sürdürülebilir hizmet sunan, güvenilir ve maliyet etkin bir şekilde uzaktan izlenebilen hizmetlerin sunulması için kablosuz teknolojilerin kullanılmasına ilgi artmıştır. KVAA'lar başta sağlık hizmetleri, hasta izleme ve buna bağlı tıbbi işlevleri yerine getirme potansiyele sahip bir teknolojidir. Bunun yanında KVAA'lar çeşitli bileşenleri sayesinde sağlık, acil durum, iş, araştırma, yaşam tarzı, spor ya da askeri alanda kullanıma uygun bir yapıya sahiptir (Ragesh ve Baskaran, 2012).

### **2.2. Kablosuz Vücut Alan Ağları**

KVAA'lar birçok sayıda ucuz, hafif, minyatür algılayıcıdan oluşur ve bu algılayıcılar vücudun üzerinde, elbiseye entegre edilmiş veya vücudun içine gömülü olabilmektedir. Şekil 2.1'de KVAA'lara ait genel şema gösterilmektedir. Böylelikle KVAA'lar kişilerin sağlık durumunun uzaktan izlenmesine olanak sunmaktadır ve maliyet gibi birçok konuda önemli fayda sağlamaktadır. Stratejik bir şekilde yerleştirilen giyilebilir veya gömülebilen kablosuz algılayıcı düğümleri hastanın hayati bulgularını (EKG, kan basıncı, vb. ile sıcaklık ve nem gibi önemli çevresel parametreler) izlememize olanak sağlamaktadır (Ragesh ve Baskaran, 2012).



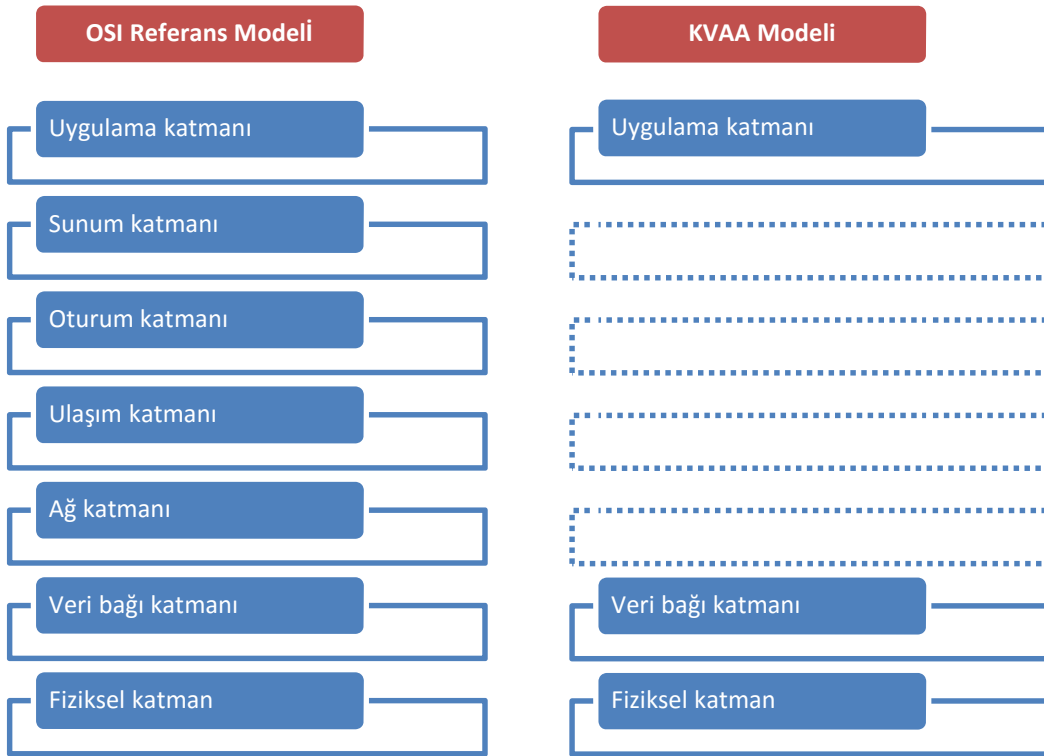
Şekil 2.1. KVAA genel şeması

KVAA'larda kullanılan algılayıcı düğüm yapısı temelde 5 bileşenden oluştuğu Şekil 2.2'de gösterilmektedir. İlk bileşen olarak, ortamdaki fizyolojik parametreleri algılamak için algılayıcı devresidir. Ortamdan alınan analog sinyallerin işlenmesi için sayısal sinyale çevrilmesi gerekmektedir. Bu yüzden algılayıcı düğümlerde temel bileşenlerden birisi de analog-sayısal çeviricidir. Sayısala çevrilen sinyallerin işlenmesi ve algılayıcı düğüme ait diğer işlemlerin gerçekleştiği kısım mikroişlemci devresidir. Algılayıcı düğümler arasında ve diğer düğümler ile haberleşmenin sağlanması için gerekli olan iletişim birimi ise radyo devresidir. Son olarak da düğümün ömrünü belirleyen ve çalışmasına olanak sağlayan güç kaynağıdır (Baschirotto ve ark., 2012).



Şekil 2.2. KVAA algılayıcı düğüm mimarisi

Açık sistemler arabağlaşımı (Open Systems Interconnection, 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 sadece üç katmana (fiziksel katman, ortam erişim katmanı ve uygulama katmanı) Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yer verilmektedir. Diğer katmanların ise uygulamaya bağlı olarak kullanılması öngörülmüştür (Yüce ve Khan, 2011).



Şekil 2.3. OSI referans modeli

KVAA'lar KAA'lardan farklı özelliklere sahiptir. Genelde KAA'lar geniş alan ölçekli, homojen yapıda olan, güvenlik ve güvenilirlik daha düşük olan ağlardır. KVAA'lar ise vücut alan ölçekli, farklı türdeki düğümlerden oluştuğu için heterojen yapıda, güvenlik ve güvenilirlik KAA'lara göre daha üst seviyededir. Bu farklar göz önünde bulundurularak gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Tablo 2.1'de KAA ile KVAA arasındaki farklar özetlenmiştir.



Tablo 2.1. KAA ile KVAA farkları (Ha, 2015)

Özellikler	KAA	KVAA
Ölçek	Onlarca metreye kadar (m-km)	Vücut alanında (cm-m)
Düğüm Boyutu	Küçük olması tercih edilir	Küçük olması şart
Veri Hızı	Homojen	Heterojen
Ağ Topolojisi	Genelde sabit	Vücut ile birlikte hareketli
Düğüm Sayısı	Gereksiz düğümler bulunabilir	Az düğüm sayısı (Sınırlı alandan dolayı)
Güvenlik	Düşük	Hastanın bilgilerini korumak için daha yüksek
Veri Kaybı	Göz ardı edilebilir	Önemli
Kablosuz Teknoloji	Bluetooth, Zigbee vb.	Düşük güç teknolojisi gerekli

### 2.3. Servis Kalitesi ve ISO/IEEE 11073

Servis kalitesi teriminin birçok farklı anlamı ve perspektifi vardır. Servis kalitesinin kesin bir tanımı olmamakla birlikte farklı kişi ve gruplar tarafından yorumlanmıştır. Servis kalitesi, uygulamaya özgü ve ağlara özgü olmak üzere iki perspektifte incelenmektedir. Fakat bu iki yaklaşım arasında kesin bir çizgi olmamakla birlikte uygulama açısından servis kalitesi, kullanıcıya/uygulamaya gerekli olan ölçülebilir servis özelliklerini (gecikme, bant genişliği, paket kaybı vb.) sağlaması gerekmektedir. Ağ açısından ise servis kalitesi, ağ kaynaklarının kullanımını maksimize ederken ağa gerekli olan servis kalitesini sağlaması gerekmektedir. Uygulama ve oluşturulan ağ arasındaki bağlantı Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Basit bir servis kalitesi yapısı

Ağdaki gereksinimleri belirlemek için ise sınıflandırma yapılabilir ve sınıflandırılan ağ modellerine göre servis kalitesi sağlanabilir. Bu modeller aşağıdaki gibi özetlenebilir (Chen ve Varshney, 2004);

- Olaya yönelik veri iletim modeli: Bu modelde düğümler bir olayın oluşumunu beklemektedir. Olay oluşumu gerçekleştiği zaman düğümler, saptanan verileri hızlı ve güvenilir bir şekilde aktarmaktadırlar. Bu model uygulamalar gecikmeye duyarlı, kritik ve birbirini etkileyen bir yapıya sahiptir.
- Sorgu tabanlı iletim modeli: Baz istasyonu tarafından bir sorgu olduğu zaman verilerin iletiminin gerçekleştiği ağ modelidir. Bu sayede enerji tasarrufu da sağlanmaktadır. Bu model uygulamalar da uçtan-uca gecikme az olmakla birlikte verinin güvenilir bir şekilde iletilmesi önemlidir ve gecikmeye toleranslıdır.
- Sürekli iletim modeli: Bu modelde veriler sürekli bir şekilde baz istasyonuna iletilmektedir. Bu model gecikmeye duyarlıdır ve verinin güvenli bir şekilde aktarılması önemlidir.
- Melez model: Birkaç modelin bir arada kullanıldığı modellerdir. Kullanılan model yapısına göre servis kalitesi gereksinimler değişmektedir.

Gerçekleştirilecek uygulamanın türüne göre ve ağın modeline göre servis kalitesi parametrelerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla gerekli parametrelerin tespit edilmesinden sonra servis kalitesinin sağlanması gerçekleştirilebilecektir.

Örneğin, kalp hastalarında ve teşhis uygulamaları için güvenilirlik çok önemlidir. Medikal uygulamalarda gecikme zamanı ve iş çıkarma oranı önemlidir. Bazı uygulamalar için iletim ve hata oranı karakteristiği önemlidir.

Ağlarda servis kalitesi farklı katmanlarda ele alınarak çözümler üretilmiştir. Farklı katmanlarda yapılan güncellemeler ağın performansını, güvenilirliğini veya enerji verimliliğini arttırabilir. Fakat servis kalitesi desteği sağlayan bir OEK protokolü tasarımı ile sorun ortam erişim katmanında çözülebilir (Thapa ve Shin, 2012).

KVAA'larda servis kalitesi desteğinin temelini oluşturacak mekanizmalar servis kalitesi ölçütlerine göre tasarlanmalıdır. Servis kalitesi ölçütleri ise genel olarak 6 maddede ele alınmaktadır (Thapa ve Shin, 2012);

- **Öncelik Atama:** Gerekli durumlarda öncelik verebilmektir. Yani acil bir durumda veya diğer gerekli durumlarda (gerçek zamanlı periyodik veri istenildiğinde veya veri sorgulaması rasgele istenildiğinde) ağın karakteristiğinin değişebilmesidir.
- **Kaynak Tahsisi:** Ağın kullandığı kaynakların (iletim ortamı vb.) dinamik olarak tahsis edebilmesi ve kaynak kullanımının optimum seviyede tutulması işlemleridir.
- **Hata Kontrolü:** Verilerin gönderilmesi sırasında oluşabilecek hataların kontrol edilmesidir. Yani verilerin güvenilir bir biçimde ağın içinde dolaşımının sağlanması veya istenen durumlarda hata kontrolünün azaltılarak veri iletiminin hızlı bir şekilde sağlanmasıdır.
- **İletişim Güvenliği:** Ağda güvenli iletişimin garanti edilmesi gerekmektedir. Veri kaybının tolere edilemeyeceği durumlarda, iletim esnasında kaybolan paketlerin yeniden gönderilerek paket kaybının önlenmesi sağlanmalıdır.

- Enerji Farkındalığı: Ağdaki düğümlerin enerjilerinin farkındalığı sağlanmalıdır. Enerjisi kritik düğümlerin durumunun bilinmesi ile imkân varsa görev çizelgesinin değiştirilmesi ve düğümün dinlendirilmesinin sağlanmalıdır.
- Kabul Kontrolü: Ağa kabul edilecek düğümlerin sayısının ayarlanması gereklidir. Yani katılım sayısı tespit edilmeli ve bundan sonraki katılımların kontrol edilerek trafik hacmini düzenlemesi gerekir.

Her bir ölçüt göz önüne alınarak oluşturulan mekanizmaların birleştirilmesi ile istenilen servis kalitesi desteği sağlanmış olacaktır. KVAA'larda servis kalitesi desteğini sağlarken bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu güçlükler göz önüne alınarak tasarlanacak protokollerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Kaynak Sıkıntıları: KVAA'ların sınırlı pil ömrü, işlem kapasitesi, bellek, tampon boyutu ve kablosuz ortamın kısıtlı bant genişliği protokol tasarımında karşılaşılan temel kaynak sıkıntılarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır.
- Kestirilemeyen Trafik Modeli: KVAA'larda trafik yoğunluğunun zamana göre değişiklik göstermesi ile trafiğin olmaması veya trafiğin patlaması durumlarının göz önüne alınması gereken diğer güçlüklerdir.
- Ağ Kararsızlığı: Ağı oluşturan düğümlerin gücünün kesilmesi, bağlantının kopması veya uyku durumunda olması gibi sebeplerden dolayı işlevselliğini yitirmesi ile ağın topolojisinde değişiklikler meydana gelmektedir.
- Ağ Dinamikleri: Düğümlerin ağa dâhil olması veya hareketlilik, arıza vb. gibi nedenler ile ağdan çıkması durumları sonucu ağda gerçekleşecek olan değişikliklerdir.
- Enerji Dengesi: Kablosuz düğümlerin en önemli problemlerinden biri enerjidir. Bu yüzden enerjinin verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

- Veri Fazlalığı: Düğümlerden alınan verilerde gerekli olmayan kısımlar olabilmektedir. Bu fazla verilerin veri birleştirme ve veri toplama teknikleri ile giderilmesi gerekmektedir.
- Heterojen Trafik Türleri: Değişik türdeki algılayıcı düğümlerden değişik örnekleme zamanı ile alınan örneklerin iletilmesi sırasında akışın heterojen olması servis kalitesini daha karmaşık hale getirmektedir.
- Paket Kritikliği: KVAA'larda bazı veri paketlerinin çok önemli olması veya gerçek zamanlı olarak iletme ihtiyaç duyması halinde paketlere öncelik atama mekanizması gerekmektedir.
- Dengesiz Trafik: Veri akışı fazla olan düğümlerden az sayıdaki baz istasyonlarına giderken trafik yoğunluğunun artması.
- Çoklu Baz İstasyonları: Bazı uygulama gereksinimlerine göre ağda birden fazla baz istasyonu olabilmektedir. Baz istasyonları arasındaki koordinasyonun sağlanması da servis kalitesinin gereklilikleri arasında yer almaktadır.

### 2.3.1. Servis kalitesi parametreleri

Servis kalitesi, ağa ait bazı metriklerin sağlanması ile gerçekleştirilir ve servis kalitesi bu metriklere göre değerlendirilir. Ağdaki düğümlerin ve ortamın karakteristiği bilirse ağa ait performans planı (kaç düğüm kapasitene sahip olabilir, hız nereye kadar çıkabilir), güvenilirlik gibi servis kalitesi karakteristiği ölçümleri yapılabilir (Olifer N. ve Olifer V., 2005). Bu ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi için sistemin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analiz sayesinde sistemin davranışı kestirilebilir bir yapıya kavuşur. Sistemin temel olarak değerlendirilmesi için gereken; güvenilirlik, enerji, gecikme, ölçeklenebilirlik, işlem hacmi gibi kriterler vardır. Bu kriterler aşağıdaki metrikler ile ifade edilir;

- Ortalama gecikme: N adet pakete ait gecikme değerlerinin ortalaması alınarak ele edilmektedir (Denklem 2.1).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (2.1)$$

- Seçirme (Jitter): N adet gecikme değerleri ele alındığında, gecikme değerleri arasındaki sapma olarak tanımlanmaktadır (Denklem 2.2).

$$J = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - D)^2} \quad (2.2)$$

- Değişim katsayısı: Jitterin gecikmeye oranıdır. Varyasyon oranı olarak da ifade edilmektedir (Denklem 2.3).

$$C_v = \frac{J}{D} \quad (2.3)$$

- Maksimum gecikme ( $D_{maksimum}$ ): Veri paketine ait maksimum iletim zamanı olarak tanımlanmaktadır.
- Ağın maksimum cevap verme süresi ( $T_{maksimum\ cevap}$ ): Ağın kullanıcı isteklerine maksimum cevap verme süresidir.
- Ölçeklenebilirlik ( $N_N$ ) : Ağın kabul edilebileceği düğüm sayısı olarak ifade edilmektedir.
- Enerji tüketimi: Kilobit başına enerji tüketimi ortalama enerjinin kilobit başına düşen işlem (iş çıkarma oranı) ile hesaplanır (Denklem 2.4).

$$E_{kb} = \frac{E_{avg}}{S_{kb}} \quad (2.4)$$

- Paket hata oranı (PER): Hedef düğüme gönderilen N adet paket sayısının hedef düğüme ulaşan paket sayısına oranı toplamdan çıkartılır. Elde edilen fark, paket hata oranını vermektedir (Denklem 2.5).

$$PER = 1 - \frac{N_{alınan}}{N_{gönderilen}} \quad (2.5)$$

- Paket kaybı oranı ve olasılığı: Kaybolan paket sayısının toplam paket sayısının oranına eşittir (Denklem 2.5).

$$PLR = \frac{N_L}{N} \quad (2.6)$$

- Kuyruğun doluluk oranı: Kuyruktaki paket sayısının kuyruk uzunluğuna (eşik değerine) oranı olarak tanımlanmaktadır (Denklem 2.7).

$$P_k = \frac{\lambda}{\mu^{k+1}} \quad (2.7)$$

- İş/zaman oranı: İş çıkarma oranı olarak da tanımlanmaktadır. Birim zamanda çıkarılan iş miktarıdır (Denklem 2.8).

$$TR = \frac{NA}{T} \quad (2.8)$$

### 2.3.2. ISO/IEEE 11073

ISO/IEEE 11073 standardı, medikal cihazların birlikte çalışmasını sağlama ve medikal uygulamalardaki gerekli servis kalitesi gereksinimlerini tanımlama konusunu ele almaktadır. Tablo 2.2’de medikal uygulama çeşitleri ve bu uygulama türlerine ait gerekli servis kalitesi gereksinimleri (gecikme ve bant genişliği) gösterilmektedir (Tachtatzis ve ark., 2011). Bütün sınıf türlerindeki Bit Hata Oranı (Bit Error Rate, BER) değerleri  $10^{-10}$ ’dan küçük olmalıdır.

Tablo 2.2. Medikal uygulama sınıfları

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

## 2.4. Literatürde yer alan OEK protokolleri

Literatürde, KVAA kullanılan uygulamalarda servis kalitesi desteği sağlamak amacıyla çok sayıda OEK protokolü çalışması yapılmıştır.

Garcia ve Falck, IEEE 802.15.4 standartları çerçevesinde servis kalitesini sağlamaya çalışmışlardır. Gönderilen paketler sekiz (8) adet öncelik sınıfına ayrılmıştır. Paketler de dört (4) adet erişim kuyruğuna, öncelik değerlerine göre eklenmektedir. Bu 4 kuyruktaki veriler ise Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim / Çarpışmadan Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA/CA) algoritmasının geliştirilmesi ile oluşturulan dağıtık erişim fonksiyonu ile kontrolü sağlanmaktadır. Çalışma, Philips AquisGrain platformunda gerçekleştirilmiş ve servis kalite performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın IEEE 802.15.4 uygulamasından daha performanslı olduğu gözlemlenmiştir (Garcia ve Falck, 2009).



Su ve Zhang, sağlık veri iletişiminde kritik önemi olan güvenirliği ve mesaj iletiminin zamanında olmasını garanti etmekle birlikte düğümlere ait bataryaların yaşam sürelerini uzatmayı hedefleyen bir tasarım gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan protokolda veri iletimi, sadece Time Division Multiple Access (TDMA) tabanlı zaman çizelgelemesi tarzında gerçekleşmektedir. Ana-ereve yapısı 3 kısımdan oluşmaktadır; işaret sinyali, aktif zaman dilimleri ve eylemsiz zaman dilimleri. Bataryanın elektrokimyasal özelliğine dayanarak, eğer düğüm veri iletimi sırasında bekleme yaparsa pil ömrü uzamaktadır. Bu yüzden veri paketleri bazı durumlarda (acil olmayan ve tamponun dolu olmadığı durumlarda) tutularak bekletilmektedir. Bu sayede pil ömrü uzatılmaktadır (Su ve Zhang, 2009).

GE Global Research, Philips, Texas Instruments ve Toumaz Technology araştırma enstitülerinin önerdiği MedWin protokolünde ortama erişim 3 çeşit olmaktadır; sıralı erişim, rasgele erişim, hazırlıksız erişim. Sıralı erişimde, ortama erişmek isteyen düğüm, koordinatöre haberleşme isteği gönderir ve koordinatör düğüm haberleşme isteğini onayladıktan sonra düğüm iletişimine başlar. Hazırlıksız olan erişimde ise koordinatör iletişime hemen uygun olan ilk periyodu tahsis eder. Eğer düğüm ana-çerçeveden daha fazla yer isterse, bazı kontrol bitlerinin budanma talebinde bulunabilmektedir. Rasgele erişimde ise düğümler gönderilecek paketleri olduğu zaman çarpışmadan kaçınarak (CSMA/CA) ortama erişirler (Davenport ve ark., 2009).

Li ve arkadaşları, KVAA' lar için sade, güvenilir ve enerji etkin bir OEK protokolü tasarlamayı amaçlamışlardır. ekişmenin olduğu zaman dilimlerinde kanal tahsisi için dilimlenmiş ALOHA tekniği kullanılmıştır. Her bir zaman dilimi kendi içinde dört adet mini dilimlere bölünmüştür. Mini dilimler ekişmedeki verimi arttırmak için tasarlanmıştır. ekişmenin olmadığı zaman dilimlerinin uzunluğu ise trafik yüküne göre ayarlanmaktadır ve garanti edilmiş zaman dilimleri (GZD) uygulamaya göre (periyodik trafik vb. ) tahsis edilmektedir (Li ve ark., 2009).

Zhang ve Dolmans geliştirdikleri OEK protokolünde çekişmeli zaman dilimlerinde veri iletim oranı yüksek olan haberleşmeyi desteklemek için veri ve kontrol

paketlerinin kullandığı haberleşme kanallarını ayırmıştır. Kontrol kanalı ise uygulama senaryosuna (trafik yüküne, düğüm sayısına vb..) göre ayarlanmaktadır. Bu sayede kritik medikal uygulamalarda, öncelikli verilerin gönderilmesi garanti edilmektedir. Trafik yüküne göre (periyodik, patlamalı ve boş) ana-çerçeve yapısı değiştirilerek düğümlere veri kanalları tahsis edilmektedir (Zhang ve Dolmans, 2009).

IEEE 802.15.6 standartlarına göre tasarlanan IMEC protokolü, işaret sinyali olan modunda öncelik esasına dayanmaktadır ve işaret sinyali olmayan modu için uyandırma radyosu mekanizması geliştirilmiştir. Veri ve kontrol kanalları birbirinden ayrılmıştır. Kontrol paketlerinin gönderildiği (çekişmenin olduğu) zaman dilimleri iki bölmeye ayrılmıştır; birinci kısımda medikal veriler (kritik), ikinci kısımda ise medikal olmayan veriler gönderilmektedir. Veri paketlerinin gönderildiği ve çekişmenin olmadığı zaman dilimleri de iki bölmeye ayrılmıştır; birinci kısım periyodik trafikler için ikinci kısım ise patlamalı trafikler için tahsis edilmiştir. Ana radyoya ek olarak eklenen ve güç tüketimi düşük olan uyandırma radyosu enerji verimliliği sağlamakla birlikte ortalama gecikme süresini de azaltmaktadır (Zhang ve ark., 2009).

Inha protokolünde, trafik yüküne göre uyanma tablolarının ayarlanıp ağın aktif olma sürelerinin ayarlandığı bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Üç adet trafik türü tanımlanmıştır; normal, isteğe dayalı ve acil trafik. Normal trafik modelinde, düşük, orta ve yüksek trafik yoğunluklarına göre (dakikada, saatte, günde bir defa) uyandırma tabloları ayarlanmaktadır ve düğüm/koordinatör bu tablolara göre uyanmaktadır. İsteğe dayalı ve acil trafik modelinde ise uyandırma radyoları tarafından düğümler/koordinatör aktif konuma geçirilmektedir. Ölçülen verinin cinsine göre trafik yükü sınıflandırılmaktadır (Kwak ve ark., 2009).

TaMAC (Traffic-Adaptive Medium Access Control) protokolü ile gerçek zamanlı sağlık veri iletişimde, TDMA temelli, az enerji tüketimli, gecikmeyi tolere edebilir, acil durumlarda (1 saniyeden az) hızlı bir şekilde kanal erişimi sağlayan, ölçeklenebilir ve farklı trafik türleri (1-normal trafik, 2- güncelleme trafiği, 3- istemli

trafik, 4- acil trafik) için servis kalitesi gereksinimlerini sağlayan bir OEK protokolü tasarımı hedeflenmiştir. Ana-çerçeve yapısı iki kısımdan oluşmaktadır; konfigüre edilebilir çekişme tabanlı zaman dilimleri (kısa veri iletimlerinde kullanılmaktadır) ve çekişmenin olmadığı zaman dilimleri. Normal trafik modeli dışındaki trafik modellerinde, düğümler veya koordinatör işaret sinyalinin uyanma sinyali gönderir. Bunun dışında düğümler uyku modunda kalarak enerji verimli bir protokol tasarımı geliştirilmiştir (Ullah ve Kwak, 2010).

Masse ve Penders, gecikme, veri tutarlılığı (paket hata oranı), bellek (yığıt boyutu) ve düğüm yaşam süresi parametrelerine göre servis kalitesini sağlamayı hedefleyen esnek bir protokol sunmuşlardır. Protokol TDMA tabanlı bir protokol yapısına sahiptir. Otomatik yeniden gönderim mekanizması eklenerek sistemin servis kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Bu mekanizmada iki yeniden gönderim arası 250  $\mu$ s'dir ve en fazla 2 adet yeniden gönderim gerçekleştirilmektedir (Masse ve Penders, 2010).

U-MAC (Urgency-based Medium Access Control) protokolünde sadece, kritik olan ve olmayan durumlar için 2 çeşit trafik tanımlamıştır. Kritik durumda olan düğümlerin paketlerine öncelik verilerek trafik kontrol edilmektedir. Kritik olmayan paketlerin çarpışma sonrası yeniden gönderilmesini keserek, kritik paketlerin gönderilmesine öncelik verilmektedir. Böylelikle kritik paketlerin zamana göre veri aktarım hacmi arttırılmaktadır (Ali ve ark., 2010).

Cao ve arkadaşları KVAA'lar için servis kalitesi desteği sağlayan ve IEEE 802.15.4 ana-çerçeve yapısına dayanan bir ana-çerçeve yapısı sunmuşlardır. Protokolde kritik trafikler için çekişmeli erişim periyotlarını ve periyodik trafikler için ise çekişmenin olmadığı periyotlardaki GZD'ler kullanılmaktadır. Servis kalitesi gereksinimlerini sağlamak için dört adet ölçüt tanımlanmıştır; öncelik, gecikme sınırı, varış zamanı ve geçerli patlama zamanı. Bu parametrelere göre tasarlanan protokol onlarca KVAA düğümlerinin bulunduğu ortam simülasyonunda çekişmeli periyotta %100 zaman sınırlamasına uyarken, çekişmenin olmadığı periyotta %99.2-99.6 olasılıkla zaman sınırlamasına uymaktadır (Cao ve ark., 2010).

PNP-MAC (Preemptive Slot Allocation and Non-Preemptive Transmission Medium Access Control)'de zaman dilimleri düşük öncelikli uygulamalar için tahsis edilmiş olup, yüksek öncelikli uygulamalar için de kullanılabilir. PNP-MAC'de ana çerçeve 5 periyoda bölünmüştür; duyuru, çekişmeli erişim süresi (Contention Access Period, CAP), işaret sinyali, veri iletim zaman dilimleri (Data Transmit Slots, DTS), ve acil verilerin iletim zaman dilimleri (Emergency Data Transmit Slots, ETS). Duyuru bölümünde, ağa dâhil olan düğümler duyurulur. CAP periyodunda, düğümler gönderme isteklerinde bulunur ve yüksek öncelikli düğümlere kısa geri çekilme zamanı verilir. DTS zaman diliminde veriler gönderilir. ETS periyodu ise acil durumlar için tahsis edilmiştir (Yoon ve ark., 2010).

RACOON (Random Contention-based Resource Allocation) protokolü, çok-kullanıcıya duyarlı ve CSMA tabanlı bir protokoldür. Birçok KVAA'nın bir arada olma durumunda, düğümün ve kullanıcının önceliğine bakarak ortamın tahsisini gerçekleştirir. Özellikle hareketlilik ile ortaya çıkan probleme çözüm üretilmiştir. Protokolün değerlendirilmesi MATLAB simülasyon platformu ile gerçekleştirilmiştir (Cheng ve ark., 2011).

MQ-MAC (Multi-channel Quality-based Medium Access Control) katmanlararası yapıyı kullanarak OEK modülü, yönlendirme modülü ve çizelgeleme modülü arasında etkileşimi sağlamıştır. Uçtan-uca gecikme ve güvenilirlik parametreleri dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, karışmaya duyarlı yönlendirme ve çoklu kanala (16 kanal) imkân sağlayan bir tasarım geliştirilmiştir (Chen ve Dario, 2011).

Barua ve arkadaşları KVAA'larda gerçek zamanlı uygulamalar için güvenlik ve gizlilik esasına dayalı bir paket çizelgeleme algoritması geliştirmişlerdir. Güvenlik anahtarı dağıtım şeması sunularak güvenlik arttırılmıştır. Sistem, veri paketlerini; yüksek ve düşük öncelik sınıfları olmak üzere 2 temel sınıfa ayırır. Gerçek zamanlı uygulamalar yüksek önceliğe sahip olmaktadır. Protokol temelde bu iki konu üzerine yoğunlaşarak servis kalitesini arttırmayı hedeflemiştir (Barua ve ark., 2011).

BodyQos üç temel mekanizmadan (kabul kontrolü, servis kalitesi çizelgeleyicisi ve sanal OEK) oluşan asimetrik yapıya sahip bir protokoldür. Kabul kontrol mekanizması ile kanal kapasitesi organize edilmiştir ve servis kalitesi çizelgeleyicisi ile kaynaklar kontrol edilerek verimliliğin artması sağlanmıştır. Sanal OEK'in üç ana özelliği vardır; istek olunan paketin zamanında gönderilmesini sağlamak, paket alındığı zaman bunu çizelgeleyiciye bildirmek ve uyku çizelgeleyicisi için zaman ve enerji yükünü devamlı kontrol etmektir (Zhou ve ark., 2011).

ATLAS (A Traffic Load Aware Sensor) protokolünde, trafik yükü duyarlı (1- düşük trafik, 2- orta trafik, 3- yüksek trafik, 4- aşırı trafik) bir OEK protokolü tasarımı geliştirilmiştir. Çoklu-atlamalı yapıya sahip olan protokolün ağ modeli hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Sistemin değerlendirilmesi ns-2 benzetim programında gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme parametreleri olarak ise; ortalama doluluk-boşluk oranı, enerji tüketimi, toplam üretilen iş, iletim oranı ve uçtan-uca gecikme değerleri kullanılmıştır (Rahman ve ark., 2011).

LDTA-MAC (Low-Delay Traffic-Adaptive Medium Access Control), IEEE 802.15.4 teknolojisi esas alınarak geliştirilmesine ek olarak sabit çekişmeli ve çekişmesiz zaman dilimlerinin dışında dinamik yapıya sahip olan 2. bir çekişmenin olmadığı zaman dilimleri periyoduna sahip bir protokoldür. Ek zaman dilimleri ise trafik yükü hesaplandıktan sonra koordinatör tarafından periyot başlamadan önce bütün düğümlere gönderilmektedir. Düğümlerden gelen GZD isteklerine göre ilgili veri paketlerinin iletimi geçerli çerçeve içerisinde yapılmakla, ortalama paket gecikme süresi azaltılmaktadır (Li ve ark., 2011).

Kateretse ve arkadaşları tasarladıkları OEK protokolünde, hastalardan alınan yaşamsal verilere dinamik olarak öncelik ataması ve sınıflandırma gerçekleştirilmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalar için trafik türlerine göre kuyruk zaman çizelgelemesi (1-acil veri, 2-orta derecede olan veriler, 3-normal veriler) ve yolun durumuna göre çoklu yol seçme mekanizması ile verilerin gönderilmesi sağlanmaktadır (Kateretse ve ark., 2012).

Kim ve Cho, dört fazlı ve çekişme tabanlı bir protokol tasarımı geliştirmişlerdir. Veriler, ana-çerçeve her bir faza öncelik sırasına göre (0- medikal servis 1-genel sağlık uygulamaları 2- medikal ve medikal olmayan uygulamalar 3- medikal olmayan uygulamalar) erişebilmektedir. 1. faz sadece seviye 0; 2. Faz seviye 0 ve 1; 3. Faz seviye 0, 1 ve 2; 4. Faz ise bütün seviyedeki veriler için geçerli olmaktadır. Böylelikle yüksek öncelikli verilerin güvenilirliği sağlanmış olmaktadır. IEEE 802.15.6 standartlarına göre ilk üç fazdaki tolere edilebilir gecikme zamanı 125 ms (medikal uygulamalar için) ve dördüncü fazdaki gecikme zamanı 250 ms (medikal olmayan uygulamalar için) olarak ayarlanmıştır (Kim ve Cho, 2012).

MEB-MAC (Medical Emergency Body Medium Access Control), IEEE 802.15.6 ana-çerçeve yapısına temel alan bir protokoldür. Bu protokolda acil trafikler için dinleme çerçeveleri kullanılarak erişim gecikmesi azaltılmıştır ve ana-çerçeve yapısını ayarlayarak enerji verimliliği dengelenmesi sağlanmıştır (Huq ve ark., 2012).

McMAC (Multi-Constrained Medium Access Control) protokolünde güvenilirlik ve gecikmeye dayalı beş adet trafik türü tanımlanmıştır (1- acil, 2- güvenilirlik ve gecikmeye duyarlı, 3- sadece güvenilirlik duyarlı, 4- sadece gecikme duyarlı, 5- güvenilirlik ve gecikmeye duyarlı olmayan). Bu trafik türlerinin servis kalitesi gereksinimlerine göre çeşitli periyotlara sahip bir ana-çerçeve yapısı tanımlanmıştır. Ana-çerçeve yapısı “uygun olduğu zaman ilet” prensibine dayanmaktadır. Ana-çerçeve yapısında çekişme tabanlı periyot çarpışma olasılığını azaltmak için iki alt kısma bölünmüştür. Çekişme olmayan zaman dilimleri de iki alt kısma bölünmüştür. Bu kısımların uzunlukları ise dinamik olarak çekişme tabanlı periyot zamanındaki isteklere göre ayarlanmaktadır. Ana-çerçeve yapısına, öncelikli verilerin iletimi için çekişme tabanlı ek bir kısım eklenmiştir (Monowar ve ark., 2012).

Yan ve arkadaşları, IEEE 802.15.6 standartlarına dayanan ve düğümlerin iletim sırasını eşik değerine göre ayarlayan bir protokol tasarlamışlardır. Temel olarak, veri teslim oranı ve enerji verimliliği esas alınmıştır. Veri güvenilirliğini sağlamak için ise düğümlere ait zaman dilimleri gerekli olandan (eşik değeri) az olmayacak şekilde

ayarlanmaktadır. TDMA tabanlı olan protokolde, düğümlerin ne zaman uyuyacağını ve ne zaman uyanık olacakları optimizasyon problem çözümü ile formüle edilir. Problem formüle edilirken her bir düğüme tahsis edilen zaman dilimleri veri oranı ve veri teslim olasılığı parametre olarak kullanılmaktadır (Yan ve ark., 2012).

PLA-MAC (Traffic Priority and Load Adaptive Medium Access Control), IEEE 802.15.4 ana-çerçeve yapısını değiştirerek öncelik tabanlı bir protokol tasarımı geliştirmiştir. Ana-çerçeve yapısı trafik yüküne göre değişmektedir. Veri paketleri dört sınıfa ayrılmıştır (1- Sıradan 2- gecikme duyarlı 3- güvenilirlik duyarlı 4-kritik). Farklı trafik yüküne göre çekişmenin olmadığı zaman dilimlerinin uzunluğu ve geri çekilme zamanları değişmektedir. Koordinatör, veri önceliklerine bakarak veri iletim dilimlerini tahsis etmektedir. IEEE 802.15.4 ana-çerçeve yapısından farklı olarak bilgilendirme periyodu eklenmiştir. Çekişme tabanlı zaman dilimlerinden sonra bilgilendirme zaman diliminde, kanal tahsis durumu bütün düğümlere anons edilmektedir (Anjum ve ark., 2013).

Literatürde bahsedilen çalışmalara katkı olarak, önerilen OEK protokolünde katmanlararası yapı kullanılarak, gecikme, güvenilirlik ve iş çıkarma oranı gibi parametrelerine göre servis kalitesi desteği sağlanmaktadır. Farklı trafik türleri ve erişimlerini desteklemek için üç ayrı erişim mekanizmasına (dilimlenmiş TDMA, CSMA/CA ve hazırlıksız erişim) sahip yeni bir ana-çerçeve yapısı tanımlanmıştır. Servis kalitesi gereksinimlerini karşılamak için üç adet mekanizmaya (öncelik mekanizması, kanal tahsis mekanizması ve kabul kontrol mekanizması) ve yeni bir zaman dilimi tahsis şeması geliştirilmiştir. Önerilen OEK protokolü ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 3'te verilmektedir.

Thapa ve shin, yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak, KVAA'lar için servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokollerini çalışmalarında özetlemişlerdir (Thapa ve Shin, 2012). Bununla birlikte birçok çalışmada (Kwak ve ark., 2009; Ullah ve ark., 2009; Gopalan ve Park, 2010; Mendes ve Rodrigues, 2011; Bradai ve ark., 2012; Hughes ve ark., 2012; Rahim ve ark., 2012; Ullah ve ark., 2012; Sevin ve ark., 2014) KVAA'lar için gerçekleştirilen OEK protokolleri incelenmiştir. Tablo 2.3'te

servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokollerinin farklı parametrelere göre karşılaştırması verilmektedir.

Tablo 2.3. KVAA'lar için servis kalitesi sağlayan OEK protokolleri

<i>OEK Protokol</i>	<i>Erişim Mekanizması</i>	<i>Öncelik Atama</i>	<i>Servis Kalitesi Parametreleri</i>	<i>Kabul Kontrolü</i>	<i>Enerji Farkında</i>	<i>Katmanlar arası Yapı</i>
<i>U-MAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Güvenirlilik	Hayır	Hayır	Hayır
<i>Cao ve ark.</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı	Evet	Evet	Hayır
<i>PNP-MAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, Güvenirlilik	Hayır	Hayır	Hayır
<i>Garcia ve Falck</i>	CSMA/CA	Evet	Güvenirlilik, Gecikme	Hayır	Hayır	Hayır
<i>Barua ve ark.</i>	ALOHA	Evet	Gecikme, Güvenlik	Hayır	Hayır	Hayır
<i>McMAC</i>	Sorgu-tabanlı TDMA, Sorgu-tabanlı CSMA,	Evet	Gecikme, Güvenirlilik	Hayır	Evet	Hayır
<i>PLA-MAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, Güvenirlilik, İş çıkarma oranı	Hayır	Evet	Hayır
<i>Yan ve ark.</i>	TDMA	Hayır	Güvenirlilik	Hayır	Evet	Hayır
<i>Su ve Zhang</i>	TDMA	Hayır	Gecikme, Güvenirlilik	Hayır	Evet	Evet
<i>BodyQoS</i>	TDMA, CSMA	Evet	Gecikme, Güvenirlilik, Efektif bant genişliği	Evet	Evet	Hayır
<i>MEB MAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA, Hazırlıksız erişim	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı, Güvenirlilik	Hayır	Evet	Hayır
<i>MQ-MAC</i>	TDMA, CSMA/CA	Evet	Gecikme, Güvenirlilik	Hayır	Evet	Evet
<i>MedWin</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA, Hazırlıksız erişim	Evet	Gecikme, Güvenirlilik, Güvenlik	Evet	Evet	Hayır
<i>Li ve ark.</i>	Dilimlenmiş ALOHA ve CSMA/CA	Hayır	Gecikme, Güvenirlilik	Hayır	Evet	Hayır



Tablo 2.3. (Devamı)

<b>OEK Protokol</b>	<b>Erişim Mekanizması</b>	<b>Öncelik Atama</b>	<b>Servis Kalitesi Parametreleri</b>	<b>Kabul Kontrolü</b>	<b>Enerji Farkında</b>	<b>Katmanlar arası Yapı</b>
<i>Zhang ve Dolmans</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı,	Hayır	Evet	Hayır
<i>TaMAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme	Hayır	Evet	Hayır
<i>Masse ve Penders</i>	Dilimlenmiş TDMA	Hayır	Veri tutarlılığı, Gecikme, Bellek yönetimi	Hayır	Evet	Hayır
<i>ATLAS</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı	Hayır	Evet	Hayır
<i>LDTA-MAC</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı, Güvenirlik	Hayır	Evet	Hayır
<i>Kateretse ve ark.</i>	TDMA	Evet	Gecikme, Güvenirlik	Hayır	Evet	Hayır
<i>Kim ve Cho</i>	Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı, Güvenirlik	Hayır	Evet	Hayır
<i>IMEC</i>	Dilimlenmiş TDMA, ALOHA ve CSMA/CA	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı, Güvenirlik	Hayır	Evet	Hayır
<i>Inha</i>	TDMA, CSMA, Aloha, Dilimlenmiş Aloha	Evet	Gecikme, İş çıkarma oranı	Hayır	Evet	Hayır
<b>Önerilen OEK protokolü</b>	<b>Dilimlenmiş TDMA ve CSMA/CA, Hazırlıksız erişim</b>	<b>Evet</b>	<b>Gecikme, Güvenirlik, İş çıkarma oranı</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Evet</b>

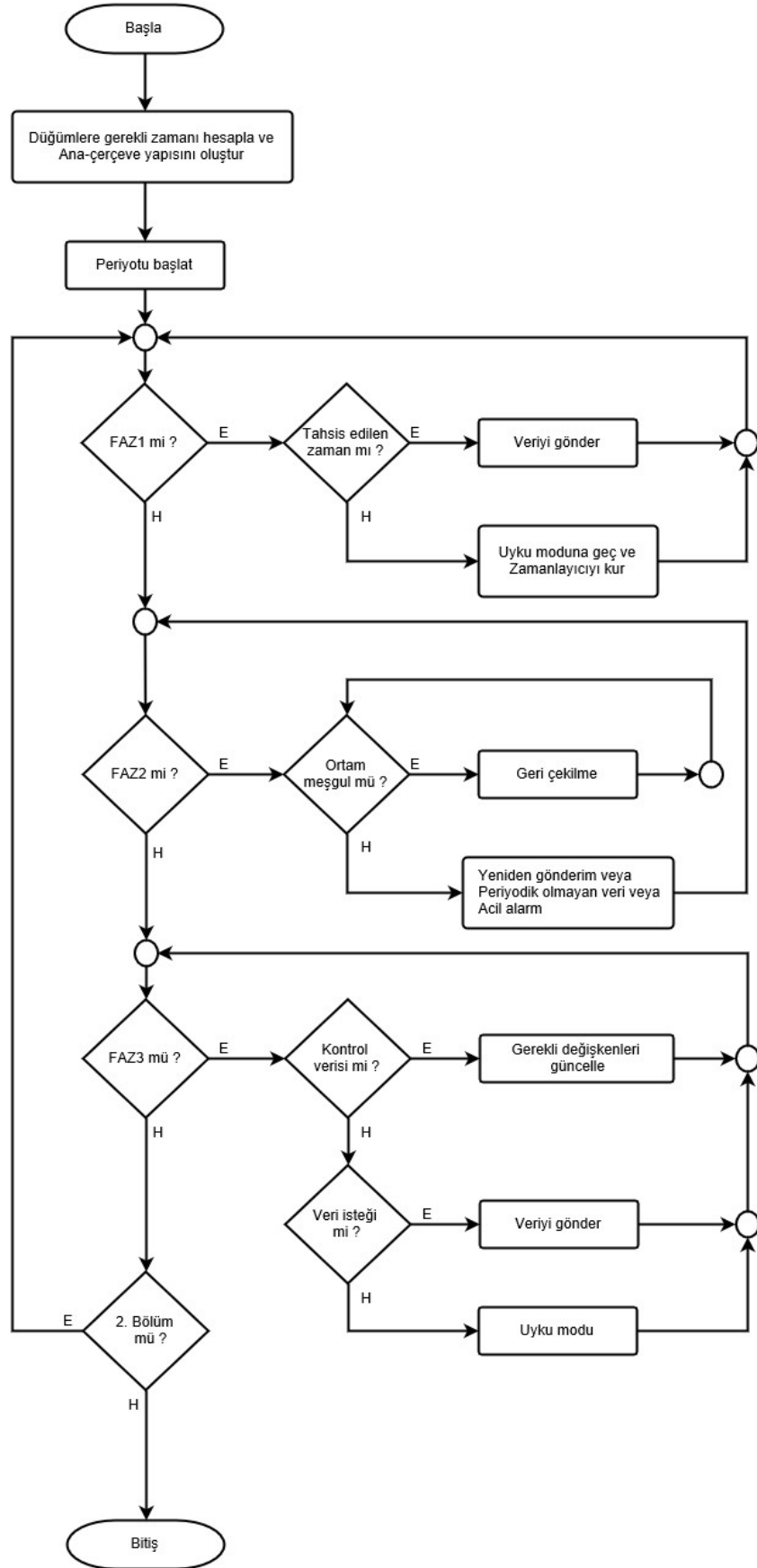
## **BÖLÜM 3. KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ SAĞLAYAN YENİ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ**

### **3.1. Giriş**

KVAA'larda servis kalitesi desteği sağlanması için ağdaki her bir düğüme ait gereksinimler belirlenerek sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Bu sınıflandırma yapıldıktan sonra gerekli haberleşme sağlanmalıdır. KVAA'larda başlıca servis kalitesi gereksinimleri; gecikme, güvenilirlik ve iş çıkarma oranı parametrelerine dayanmaktadır. Tasarlanan OEK protokolünde bu parametreler dikkate alınarak gerekli şema ve mekanizmalar oluşturulmuştur. Servis kalitesini yeterli seviyede sağlamanın yanı sıra başarımı en iyileştirmek için de katmanlararası yapı ve diğer gerekli mekanizmalardan yararlanılmıştır.

### **3.2. Genel Mimari**

Tasarlanan OEK protokolünün ilk aşaması olan kurulum aşamasında, algılayıcı düğümlerden gelen servis kalitesi gereksinimlerine bağlı olarak zaman dilimleri tahsis edilmektedir. Eğer ağa dâhil olmak isteyen düğüm için yeterli zaman dilimi yoksa düğüm ağa kabul edilmemektedir. Düğümlere tahsis edilen zaman dilimlerinin haricinde kalan zaman dilimleri 2 kısma ayrılmaktadır. Birinci kısım çekişmeli iletişimin gerçekleştiği Çekişmeli Erişim Fazıdır (ÇEF). Bu kısımda düğümler ortama erişmek için ortamın boş olmasını beklemektedirler. Ortama ilk erişen iletişimi sağlamaktadır. İkinci kısımda ise hazırlıksız haberleşme olmaktadır. Bu kısımda kullanıcı istekli veriler ve merkezi düğüm tarafından kontrol verileri iletilmektedir. Sistemin genel işleyişi Şekil 3.1'deki akış diyagramında özetlenmektedir.

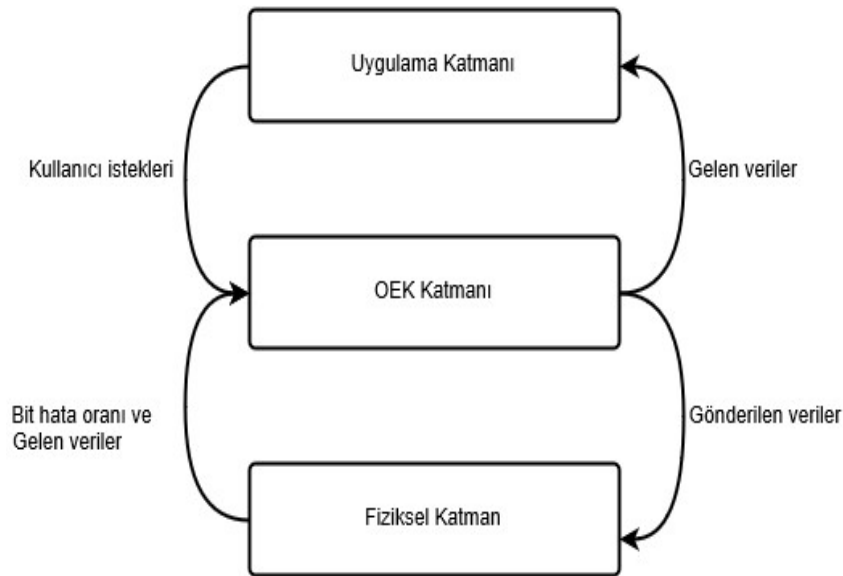


Şekil 2.1. Sistemin genel çalışmasını özetleyen akış diyagramı



### 3.2.2. Katmanlararası etkileşim

Tez çalışmasında tasarlanan OEK protokolü, diğer katmanlarla etkileşimli bir mimariye sahiptir. Şekil 3.3'te OEK protokolüne ait katmanlararası mimari verilmektedir. Uygulama katmanında, kullanıcı tarafından girilen veri istekleri OEK katmanına gönderilmektedir. Fiziksel katmanda, gelen verilere ek olarak bit hata oranı gönderilmektedir. Bu hata oranına bağlı olarak servis kalitesi sınırına yaklaşılması durumunda veri iletim oranının düşürülmesi sağlanabilmektedir. Veri iletim oranının düşürülmesi için zorunlu olmayan verilerin gönderilmesi engellenmekte veya algılayıcı düğümlerden gelen fizyolojik veriler eşik değerini geçtiği durumlarda gönderilmektedir.

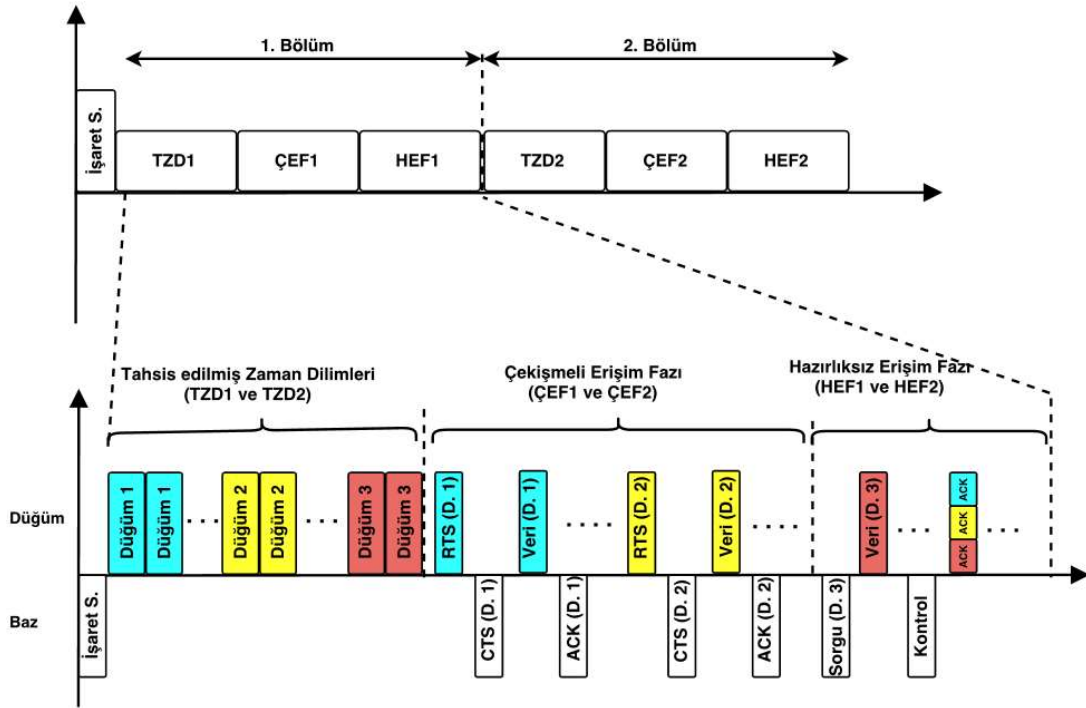


Şekil 3.3. Katmanlararası etkileşim

### 3.2.3. Ana-çerçeve yapısı

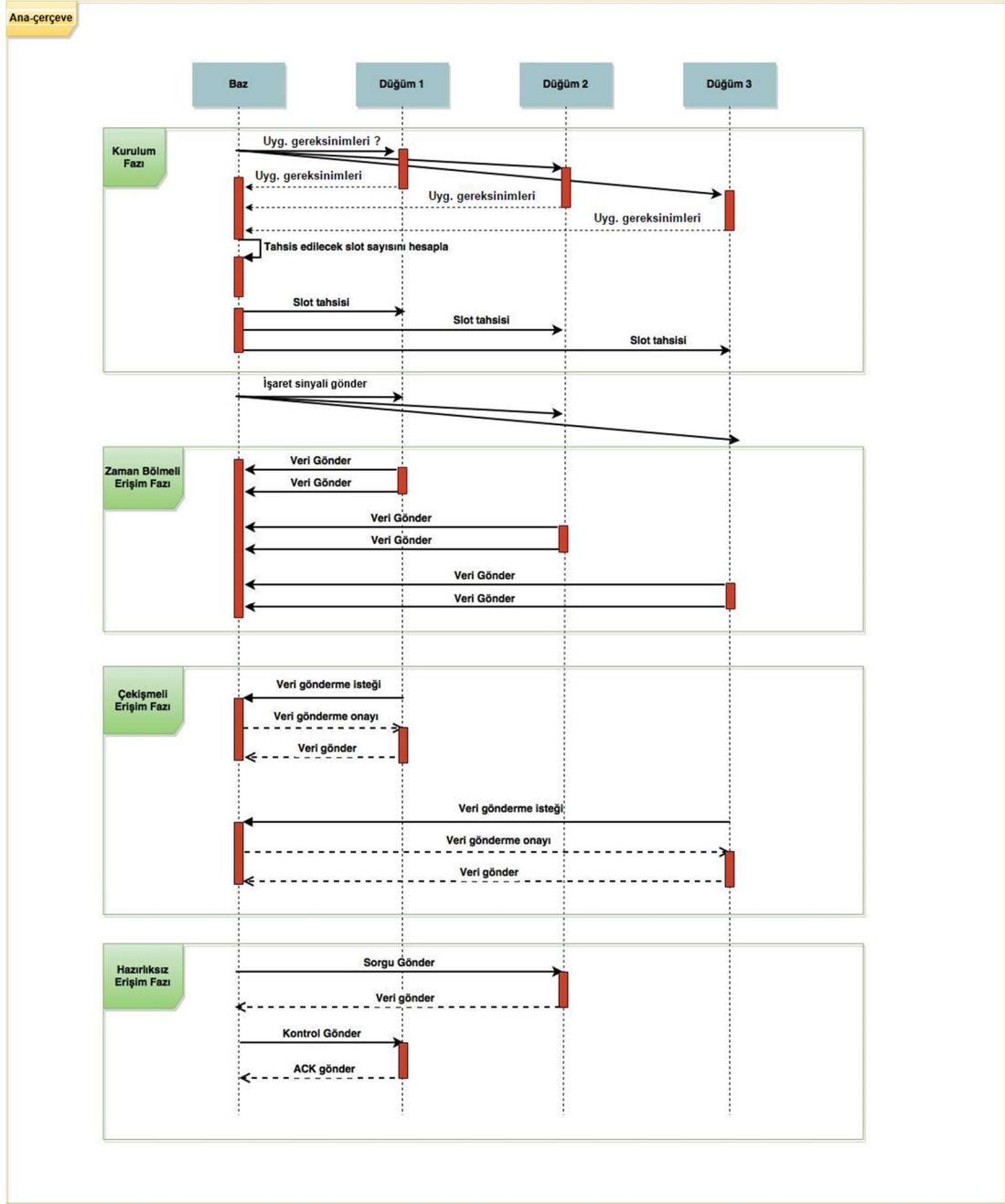
Ana-çerçeve yapısında, işaret sinyali ile periyot başlamaktadır. Üç ana kısımdan oluşan ana-çerçeve yapısı Şekil 3.4'te belirtilmektedir. İşaret sinyalinden sonra düğümlere tahsis edilen zaman dilimleri gelmektedir. Bu kısımda, düğümler kendilerine tahsis edilen zaman dilimlerinde iletişim gerçekleştirmektedirler. Daha sonra ise, rasgele erişimin sağlandığı ikinci kısım vardır. Bu kısımda, tekrar gönderilmesi gereken verileri olan düğümler ve ek gönderim yapmak isteyen

düğümler ortama çekişmeli biçimde erişebilmektedirler. CSMA/CA protokolünde olduğu gibi düğümler ortama erişmeden önce ortamın boş olduğunu kontrol ederler. Eğer ortam boşsa RTS (Request to Send, veri iletimi yapmak isteğini belirten paket) paketi gönderilir. Eğer bu RTS paketine cevap olarak CTS (Clear-to-Send) paketi gelirse iletişim gerçekleştirilir. Eğer ortam meşgul ise rasgele bir zaman geri çekilme gerçekleşir ve rasgele zaman geçtikten sonra yeniden ortam dinlenir. Ortam boşsa RTS paketi yeniden gönderilir. Üçüncü kısımda ise hazırlıksız haberleşme vardır. Bu kısımda düğüm baz istasyonundan gelen kontrol veya veri istek paketlerini alırlar. Alınan paket kontrol paketi ise düğüm bilgilerini güncellerler veya veri istek paketi ise istenilen paketi baz istasyonuna iletirler.



Şekil 3.4. Geliştirilen OEK protokolünde kullanılan ana-çerçeve yapısı

Tasarlanan OEK protokolündeki erişim fazları ve kurulum fazındaki haberleşmeye ait detaylar Şekil 3.5'teki sıralı diyagramda verilmektedir. Haberleşme esnasında iletişim sıralaması, gerçekleştirilen olaylar ve durumlar zamana bağlı olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Geliştirilen OEK protokolündeki erişim fazlarına ait sıralı diyagram

### 3.3. Çalışma Mekanizmaları

Tasarlanan OEK protokolünde, servis kalitesi gereksinimlerini karşılamak için yeni bir zaman dilimi tahsis şeması ve üç adet mekanizma tasarlanmıştır. Zaman dilimi tahsis şeması, ağdaki kullanıcılara gerekli sayıda zaman dilimlerini ayırmaktadır. Böylelikle, garanti edilen veri iletimi sağlanmaktadır ve gecikme değeri aşımı

engellenmiştir. Tanımlanan öncelik atama mekanizması ile farklı trafik yüklerine ve güvenilirliğe sahip düğümlere servis sağlanmaktadır. Kanal tahsis mekanizması ise paket çakışmasından kaçınmayı sağlayarak BER değerini azaltır ve bu sayede güvenilirlik arttırılmaktadır. Bunun yanında, kabul kontrol mekanizması da, ağır ölçeklenebilirliği için oluşturulmuştur.

### 3.3.1. Öncelik atama mekanizması

Geliştirilen OEK protokolünde, gecikme önceliği ve güvenilirlik önceliği olmak üzere iki tür öncelik mekanizması bulunmaktadır. Gecikme önceliğinde 4 farklı trafik türü tanımlanmaktadır (Tablo 3.1). Çekişmeli erişim fazında düğümden paket çıktığı zaman verinin önceliğine göre Çekişme Penceresi (ÇP) değeri ayarlanır. Sonradan, düğüm geri çekilme değeri olarak 1 ile ÇP değeri arasında rasgele bir sayı seçer. Geri çekilme zamanı bittiği zaman düğüm iletişime başlar. Eğer hala kanal dolu ise yeniden geri çekilme zamanı kurulur ve geri sayım başlar. Farklı trafik türlerine göre çekişmeli erişimde çekişme penceresi değerleri değişmektedir. Bu sayede geri çekilmede aldıkları rasgele sayı aralığı belirlenmekte ve ortama erişme olasılığı sınıflandırılmaktadır.

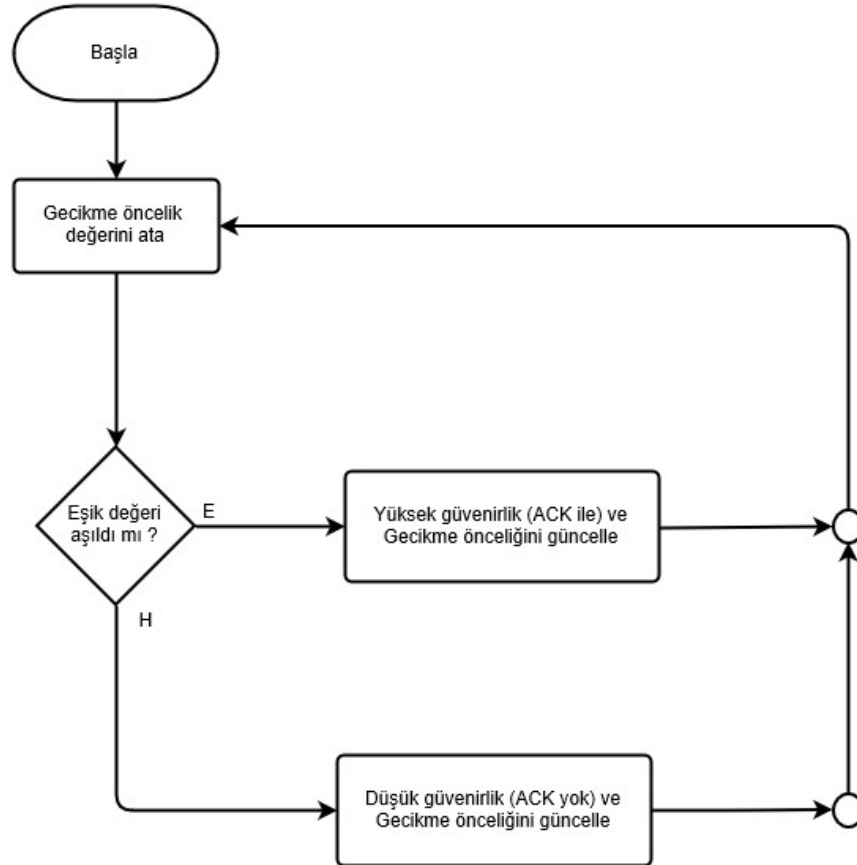
Bunun yanında, tasarlanan sistemde öncelik türü dinamik olarak tanımlanmaktadır. Eğer herhangi bir algılayıcı kendi eşik değerini aşarsa, öncelik değerini güncellemektedir. Yani sıcaklık verisinin EKG verisine göre öncelik değeri daha düşüktür. Ama sıcaklık değeri aşırı düşer veya artış gösterirse öncelik değeri EKG'den yüksek olmaktadır.

Tablo 3.1. Gecikme öncelikleri

<i>Kullanıcı Önceliği</i>	<i>Tip</i>	<i>Örnek</i>	<i>CSMA/CA</i>	
			<i>ÇP<sub>min.</sub></i>	<i>ÇP<sub>mak.</sub></i>
0	Acil alarm	Acil hayati sinyaller	1	4
1	Medikal (Hayati sinyaller)	EKG	2	4
2	Medikal	Glikoz, SpO <sub>2</sub>	2	8
3	Medikal olmayan	İvme	4	8



İkinci öncelik türü ise güvenilirliktir. Bu türe göre güvenilirlik önceliği olan verilerden Acknowledgement (ACK) bilgisi istenmektedir. Ama güvenilirlik önceliği olmayan verilerden ise ACK bilgisi istenmemektedir. Öncelik yapısının çalışması Şekil 3.6'daki akış diyagramında özetlenmektedir.

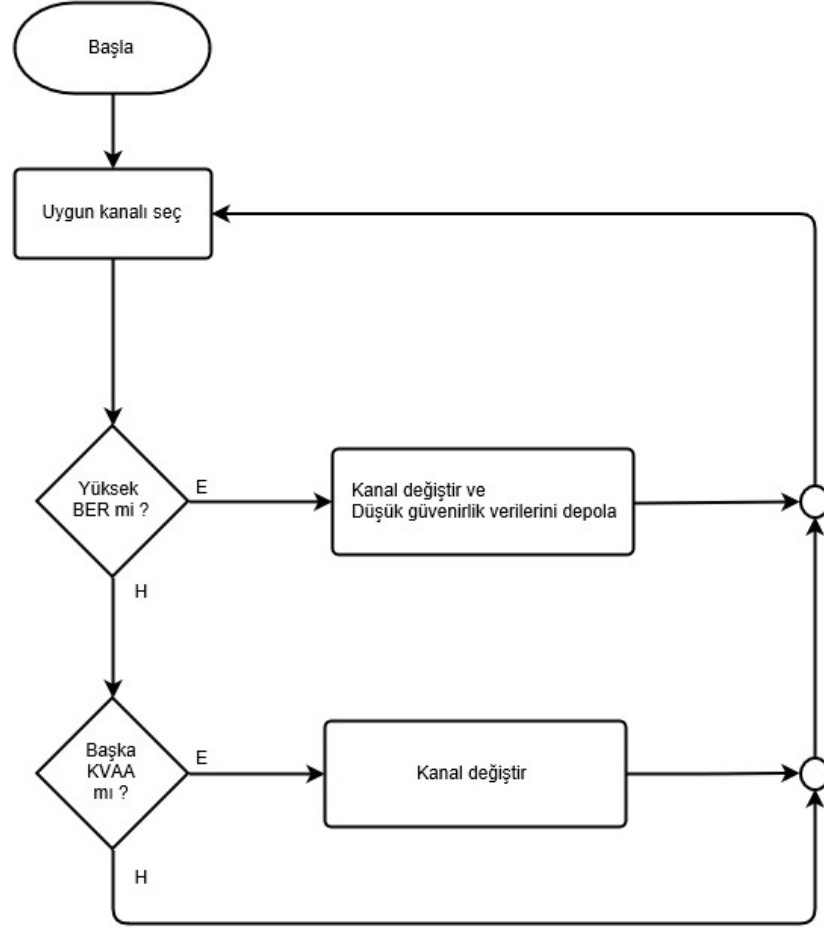


Şekil 3.6. Geliştirilen OEK protokolüne ait öncelik mekanizması

### 3.3.2. Kanal tahsis mekanizması

Tasarlanan OEK protokolünde bit hata oranı arttığı zaman güvenilirlik seviyesi düşük olan verilerin gönderilmesi engellenmektedir veya hata oranı daha az bir kanala geçilmektedir. Ayrıca gönderilmeyen paketler kuyrukta bekletilmektedir. Böylelikle hata oranının düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu paketler daha sonradan gönderilmektedir. Karşılaşılabilecek diğer bir olasılık da, iki tane KVAA'nın bir arada var olması durumudur. Bu durumda, KVAA'lardan birisi kullandığı haberleşme kanalını değiştirmektedir. Sunulan OEK protokolünde, 16 adet KVAA

aynı anda haberleşme gerçekleştirebilmektedir. Bu mekanizma Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kanal tahsis ve hata oranı düşürme mekanizması

### 3.3.3. Zaman dilimi tahsis şeması

OEK katmanında, servis kalitesi desteğini sağlamak için gerekli zaman dilimleri istemci düğümlere tahsis edilmesi gerekmektedir. Bu sayede düğümler gerekli zaman kısıtları içerisinde verilerini gönderebilmekte ve veri iletim başarımlarını arttırılmaktadır. Bunun için de, uygulama hızı bir zaman diliminde gönderilebilecek bit sayısına bölünür. Bir zaman diliminde gönderilebilecek bit sayısı ise veri hızı ile zaman dilimin çarpımından elde edilmektedir. Çıkan sonuç ise bir saniyede gönderilmesi gereken bit sayısına eşittir. Ana-çerçeve uzunluğu ile çıkan sonuç çarpma işlemine tabi tutulursa bir ana-çerçevede düğüme tahsis edilmesi gereken zaman dilimi

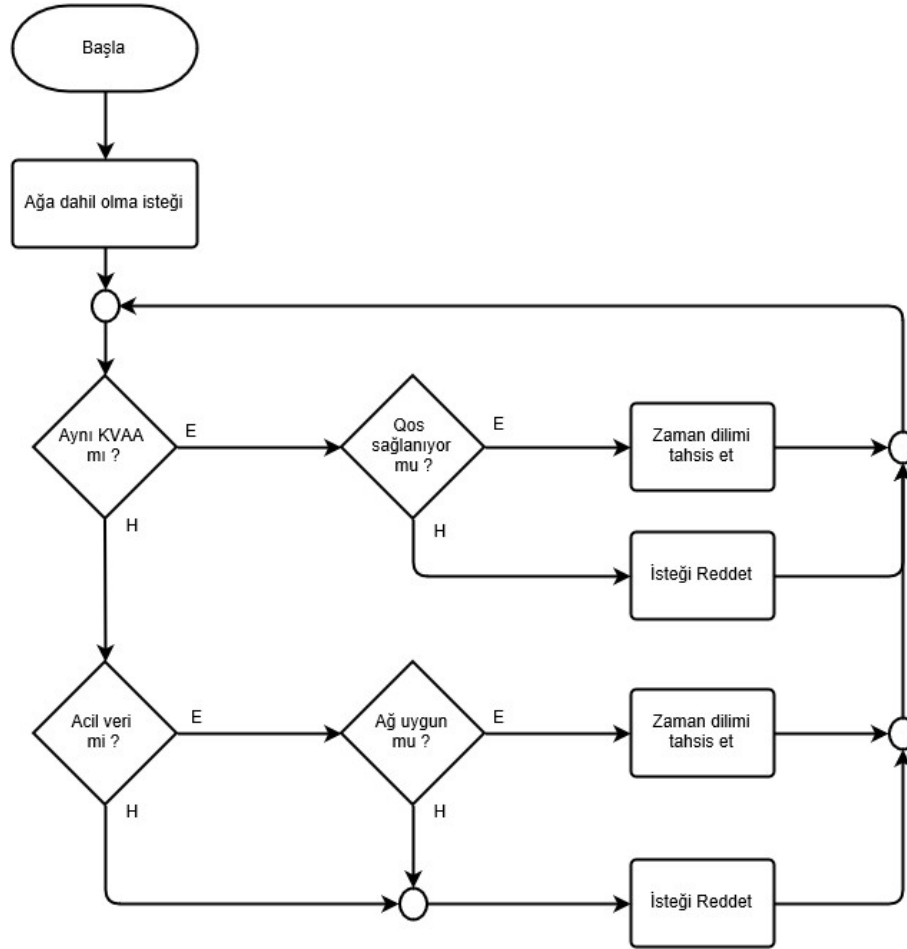
sayısına ulaşmış olunur (Denklem 3.1). Bu sayı her zaman tam sayı çıkmayabilir, bu yüzden çıkan sonuç üste yuvarlanır. Düğüme tahsis edilen zaman diliminin kaç periyotta bir ( $m$  sayısı) kullanılması gerektiği Denklem 3.2’de gösterilmektedir. Burada iki koşul vardır. Birinci koşulda  $m$  değeri sabit olarak 1 olur. İkinci koşulda ise gecikme değerinin ana-çerçeveye bölümüne bağlı değer alır.

$$\text{Tahsis Edilecek Zaman Dilimi Sayısı} = \left\lceil \frac{\text{Uygulama Hızı} \times T_{\text{ana-çerçeve}}}{\text{Veri Hızı} \times T_{\text{dilim}}} \times m \right\rceil \quad (3.1)$$

$$m = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } \left( \frac{\text{Veri Hızı} \times T_{\text{dilim}}}{T_{\text{ana-çerçeve}}} \geq 1 \right) \\ \left\lceil \frac{\text{Gecikme}}{T_{\text{ana-çerçeve}}} \right\rceil & \text{Eğer } \left( \frac{\text{Veri Hızı} \times T_{\text{dilim}}}{T_{\text{ana-çerçeve}}} \leq 1 \right) \end{cases} \quad (3.2)$$

#### 3.3.4. Kabul kontrol mekanizması

Kabul kontrol mekanizması ağa katılacak düğümler sayısını belirlemektedir. Bu sayede ağın aşırı yüklenmesi önlenmekte ve ağdaki düğümlerin haberleşmesi sağlıklı bir şekilde devam ettirilmektedir. Herhangi bir düğümden ağa dâhil olma isteği geldiğinde, servis kalitesi gereksinimleri sağlanırsa yeterli zaman dilimi tahsis edilir. Aksi halde katılım isteği reddedilir. Eğer başka bir KVAA’dan ağa dâhil olma isteği gelirse paketin öncelik durumuna bakılır. Eğer acil veri ise ve ağda gönderim imkânı varsa zaman dilimi tahsis edilir veya çekişmeli zaman diliminde paket gönderilir. Aksi halse katılım isteği reddedilir. Şekil 3.8’de kabul kontrol mekanizmasının çalışması özetlenmektedir.



Şekil 3.8. Kabul kontrol mekanizması

### 3.4. Benzetim Modeli

Benzetim, sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemek, kontrol etmek ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunmak amacıyla yapılan zaman üzerindeki taklidi. Tasarlanan OEK protokolünün modelleme ve benzetimi OPNET (OPTimized Network Engineering Tool) Modeler yazılımında geliştirilmiştir.

#### 3.4.1. OPNET benzetim yazılımı

OPNET, iletişim sistemleri ve haberleşme ağlarının modellenmesi için görsel bir benzetim ortamı sağlayan nesneye yönelik bir yazılımdır. Modellenen sistemlerin davranış ve başarımları analizleri ayrık olay benzetim yöntemi ile gerçekleştirilir. OPNET, hiyerarşik modelleme katmanlarından oluşur. Yani bir ağ modellenmesinde,

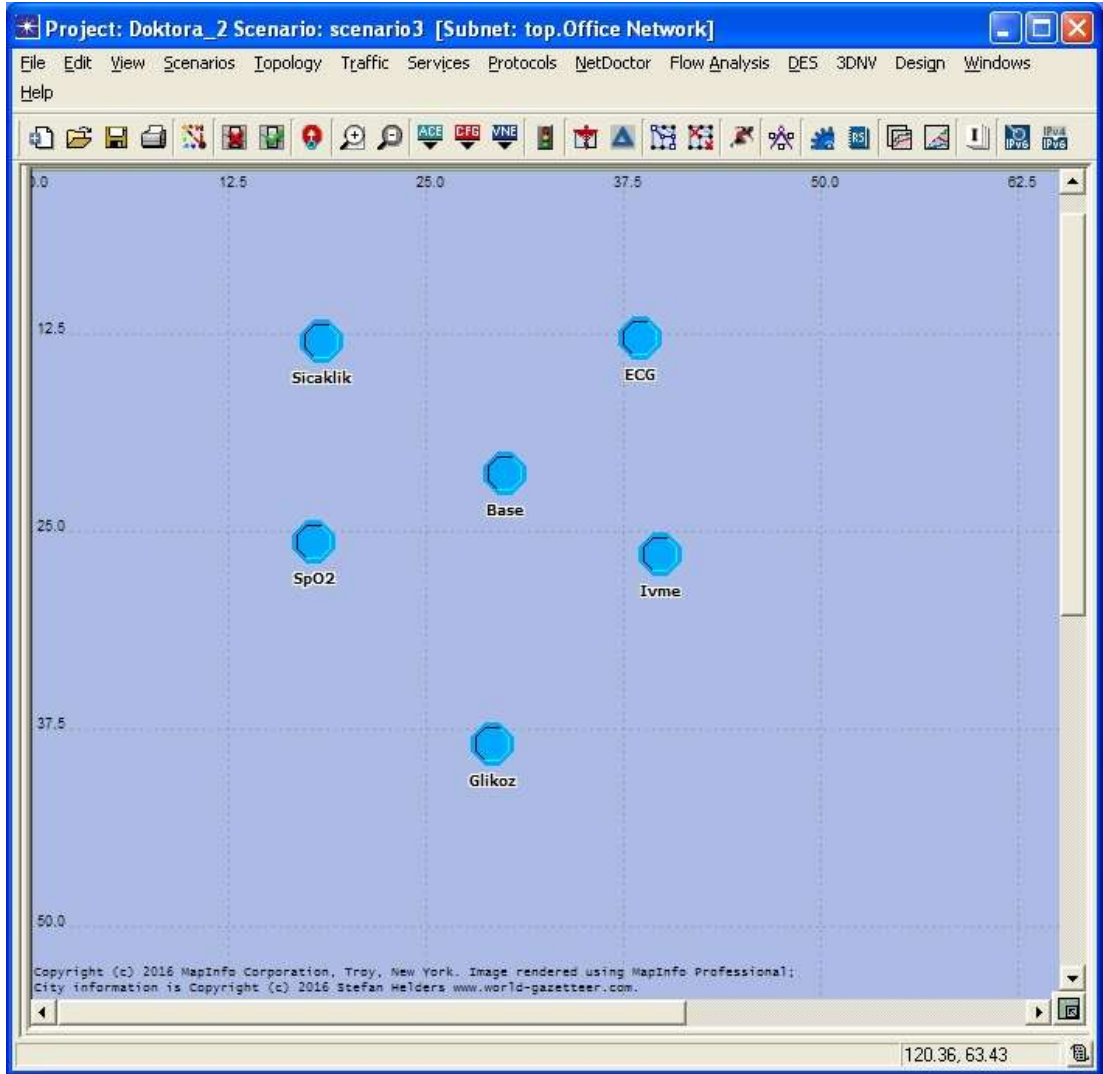
ağ içerisinde kullanılacak bağlantı hatları, veri ve kontrol paketleri, kullanılacak ağ elemanları, katmanlar ve protokoller ayrı editörlerde hazırlanır. Örnek olarak Proje editöründe oluşturulan ağ modelindeki her bir nesne, düğüm editöründe tanımlanan modüllerden meydana gelmektedir. Düğüm editöründeki her bir modül ağ elemanının davranışını, kullandığı protokolün çalışmasını ve özelliklerini belirlemektedir. Modülün bu işlevi, süreç editöründe gerçekleştirilen Proto-C kodu içeren durum geçiş diyagramları ile sağlanır. Bunun yanında bağlantı modeli, paket formatı, arayüz kontrol bilgisi, anten modeli, modülasyon vb. editörleri de vardır. OPNET'in en büyük avantajlarından bir tanesi de, editörlerinin yardımı ile yeni protokol ve ürünlerin modellerini oluşturabilmesi ve bunların model kütüphanesine eklenmesine olanak sağlamasıdır. OPNET, özetle bir haberleşme sistemini modelleme, benzetimi gerçekleştirme, veri toplama, sonuçları analiz etme işlemlerini yerine getirir. Bu bağlamda, tez çalışmasında önerilen OEK protokolünün benzetiminde OPNET yazılımı kullanılma nedenleri başlıca şunlardır;

- Geniş bir kütüphaneye sahiptir.
- Kullanım kolaylığına ve görsellik açısından zengin içeriğe sahiptir.
- Simülasyon sonuçlarını işleme ve grafiksel sunumlar için uygun olmasıdır.

Bölüm 3.4'e ait gelecek alt bölümlerde OEK protokolünün modelleme ve benzetim aşamasında kullanılan OPNET editörleri anlatılmaktadır.

### **3.4.2. Proje modeli**

Proje modeli, ağın topolojisinin oluşturulduğu ve düğümlerin konumları ile birlikte hareketlerinin gösterilebileceği kısımdır. Bu editörde ayrıca ağ trafik yük tanımlamaları, benzetim sonucunda elde edilmesi istenen istatistik seçimleri yapılmaktadır. Şekil 3.9'da tasarlanan OEK protokolünde, beş adet algılayıcı ve bir adet baz istasyonunun kullanıldığı örnek proje modeli sunulmaktadır.

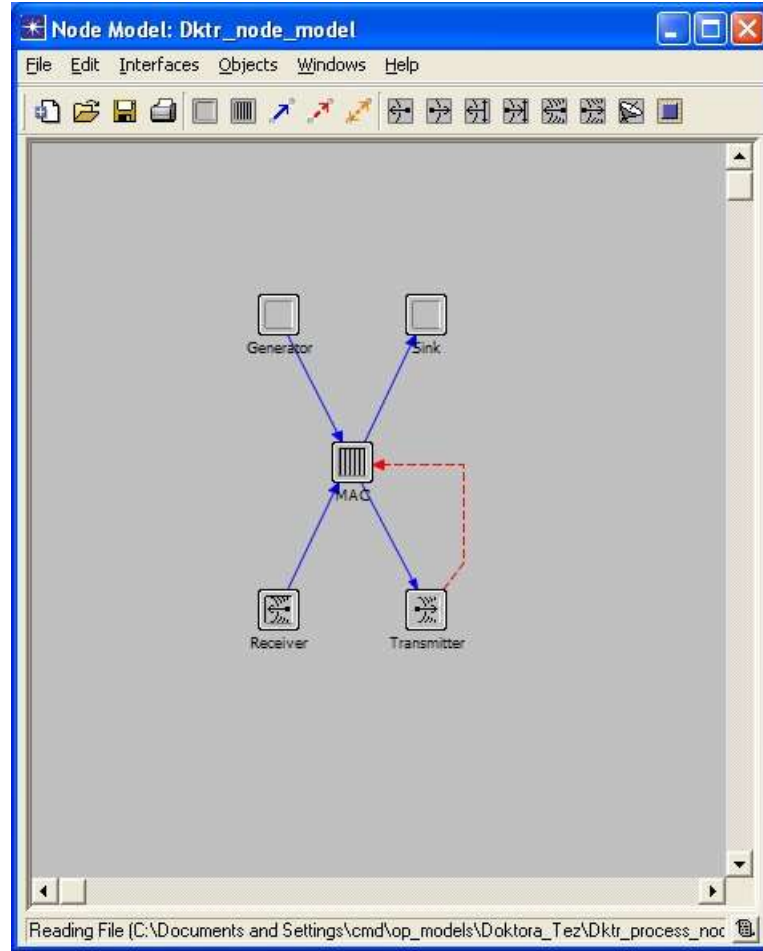


Şekil 3.9. Proje modeli

### 3.4.3. Düğüm modeli

Düğüm modeli, OSI referans modeli gibi düğümlerin modüler yapısının oluşturulduğu kısımdır. Yani, paket akışlarının belirlendiği, iletişim şeklinin oluşturulduğu, işlemlerin yapılacağı blokların düzenlendiği yerdir. Düğüm modelinde kullanılan “Generator”, “Sink”, “MAC”, “Receiver” ve “Transmitter” olarak adlandırılan modüller, düğümün yapısını oluşturmaktadır ve Şekil 3.10’da gösterilmektedir. Benzetim modelinde, KVAA’yı oluşturan düğümler ve baz istasyonu için ortak bir düğüm modeli tasarlanmıştır. Fakat, baz istasyonu ve algılayıcı düğümlerdeki “MAC” modülü farklı işlevleri sağlamaktadır.

- Generator modülünde, paket üretimi gerçekleştirilmektedir. Paket üretim aşamasında paket formatı, paket üretim aralığı, paket boyutu, başlama zamanı ve bitiş zamanı gibi parametreler belirlenmektedir.
- Sink modülü, OEK katmanına gelen paketlerin ulaştığı ve istatistiklerinin kaydedildiği modüldür. OEK katmanına gelen paket, düğüme ait ise sink modülüne gönderilir ve pakete ait uçtan-uca gecikme ve trafik bilgisi gibi istatistikler hesaplandıktan sonra paket yok edilir.
- MAC modülünde kuyruk yapısı kullanılmaktadır ve tasarlanan OEK protokolünün işlevlerinin gerçekleştiği kısımdır. Kuyruk yapısına ait parametreler bu kısımda tanımlanmaktadır. OEK katmanına ait işlevlerin detayları süreç modelleri kısmında ele alınacaktır.
- Receiver modülü, kablosuz ortamdan paketlerin alındığı alıcı devresidir. Alınabilecek paket formatları ve kanal özellikleri de bu modülde tanımlanmaktadır.
- Transmitter modülü, kablosuz ortamdan paketlerin gönderildiği verici devresidir. Bu modülde ayrıca veri iletim hızı, modülasyon türü ve hata modeli gibi özellikler tanımlanabilmektedir.



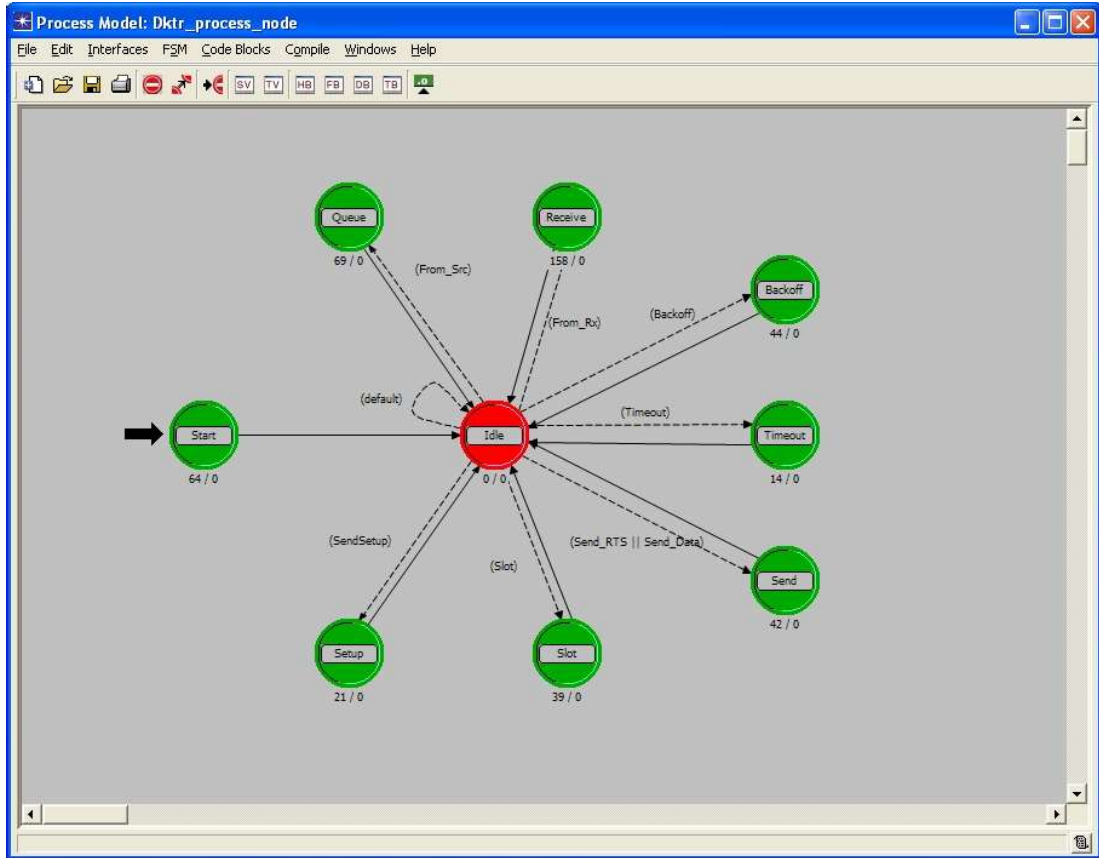
Şekil 3.10. Düğüm modelleri

### 3.4.4. Süreç modelleri

Süreç modülü, fonksiyon blokları ve işlemlerin yer aldığı sonlu durum makinelerinden oluşmaktadır. Bu durum makinelerinin arasındaki durum geçişleri de bağlantılarla ifade edilmektedir. KVAA'da baz istasyonu ve algılayıcı düğüm modelleri aynı düğüm modeline sahip olsa da farklı fonksiyon ve işlemlere sahip olduğundan ayrı süreç modellerine sahiptirler.

KVAA'daki algılayıcı düğümüne ait süreç modeli Şekil 3.11'de görülmektedir. Süreç modelindeki durum makinelerinin görevleri şunlardır;



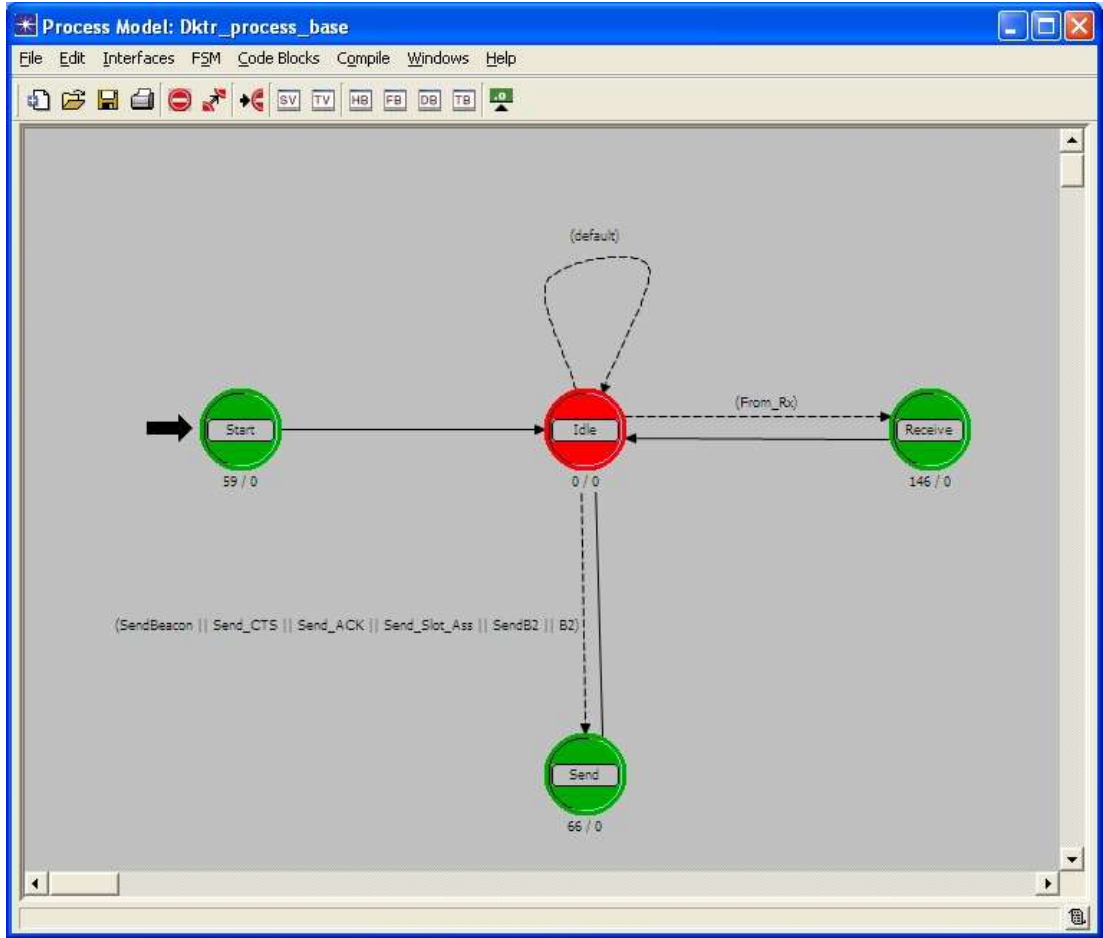


Şekil 3.11. Algılayıcı düğümüne ait süreç modeli

- Start durum makinesinde, gerekli değişkenler ilk değerini alır ve istatistiksel bilgiler ile düğüm özelliklerinin tanımlanması yapılmaktadır. Zaman dilimi süresi, ana çerçeve süresi, kanal frekansı, düğümün uyanma zamanı gibi değişkenlere değerler atanmaktadır ve düğümüne ait bilgiler üst katmandan okunarak değişkenlere ataması gerçekleştirilir.
- Setup durum makinesinde, kurulum fazında kurulum paketi oluşturularak baz istasyonuna gönderilmektedir. Oluşturulan pakette düğümüne ait bilgiler (öncelik değeri, gecikme üst sınırı, veri iletim hızı vb.) yer almaktadır.
- Slot durum makinesinde, hangi zaman diliminde bulunduğu tespit edilerek gerekli kesmelere yönlendirme yapılmaktadır. Düğümler bu sayede hangi fazda olduklarını tespit ederek iletişimlerini gerçekleştirmektedirler.

- Send durum makinesinde, gerekli durumlar oluştuğu zaman paket kuyruktan çekilerek vericiye gönderilmektedir. Yani, veri gönderilmeden önce RTS paketinin gönderilmesi ve CTS paketi gelmesi durumunda veri paketinin gönderilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.
- Timeout durum makinesi, paketlerin alınıp iletilmesinde oluşan zaman aşımı olaylarında gerekli işlemlerin gerçekleştiği kısımdır. Kurulum fazında, baz istasyonundan cevap gelene kadar kurulum istek paketinin gönderilmesi ve RTS paketine karşılık CTS paketi gelmemesi durumunda geri çekilme zamanlayıcısının yeniden kurulması gerçekleştirilmektedir.
- Backoff durum makinesi, çekişmeli zaman dilimlerinde geri çekilme zamanının oluşturulduğu ve yönetildiği kısımdır. Çekişmeli zaman dilimlerinde, veri göndermek isteyen düğüme ortam meşgul ise geri çekilme zamanı atanmaktadır. Her zaman diliminde bu atanan değer azaltılır ve değer sıfır olduğuunda yeniden ortama erişim hakkı verilmektedir.
- Receive durum makinesinde, paket alındığı zaman, paket türü belirlenir ve gerekli işlemler gerçekleştirilmektedir. ACK paketi geldiği zaman paketin kuyruktan silinmesi, bit hata oranının tespiti, kurulum atama paketi geldiği zaman değerlerin değişkenlere atanması gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.
- Queue durum makinesi, paketlerin oluştuktan sonra gerekli parametrelerin eklenip kuyruğa gönderildiği kısımdır. Benzetim modelinde, algılayıcılardan alınan verileri temsilen bu kısımda değerler oluşturulmaktadır.
- Idle durum makinesi, diğer durum makinelerinin çalışmadığı zamanlarda beklenen yerdir.

şekil 3.12'de baz istasyonuna ait OEK katmanının süreç modeli yer almaktadır. Bu kısımda baz istasyonun yerine getirdiği görevler tanımlanmaktadır.



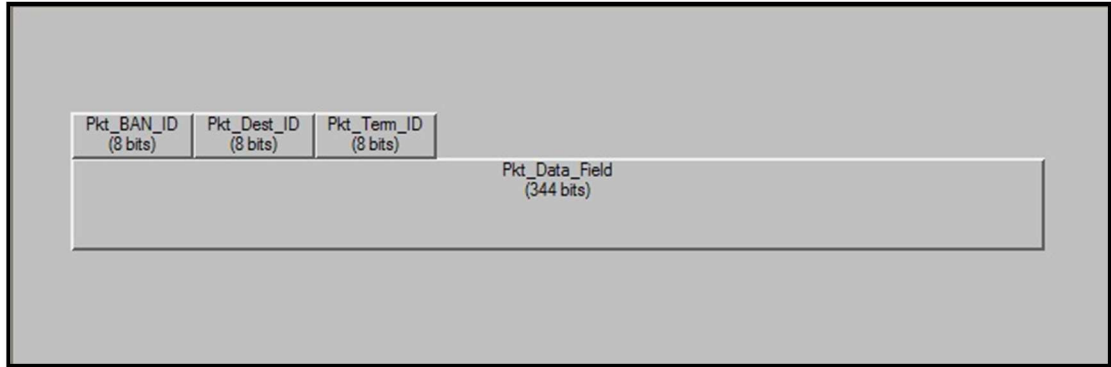
Şekil 3.12. Baz istasyonuna ait süreç modeli

- Start durum makinesi, baz istasyonunun kullanacağı gerekli değişkenlerin ilk değerini aldığı ve istatistiksel bilgiler ile düğüm özelliklerinin tanımlanmasının gerçekleştirildiği kısımdır. Kanal frekansının belirlenmesi, ana-çerçeveye ait değişkenlerin atamalarının yapılması ve zaman dilimi süresinin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir.
- Send durum makinesinde, baz istasyonu tarafından gönderilmesi gereken paketler düğüm modelindeki vericiye gönderilmektedir. Ana-çerçevenin başlangıcında işaret sinyalinin gönderilmesi, veri paketinin ulaşması durumunda ACK paketinin gönderilmesi, CTS ve kurulum atama gibi paketlerin gönderilmesi bu kısımda gerçekleştirilmektedir.

- Receive durum makinesinde, paketler alıcı devresinden alınarak, paket türüne göre gerekli işlemler gerçekleştirilmektedir. Örneğin RTS paketi gelmesi durumunda, baz uygun ise CTS paketi gönderilmektedir veya kurulum istek paketi gelmesi durumunda düğümün servis kalitesi gereksinimleri karşılanabilecek ise düğümüne gerekli zaman dilimi sayısı hesaplanarak kurulum atama paketi ile ana-çerçeveadaki atanmış zaman dilimleri gönderilmektedir.
- Idle durum makinesi, diğer durum makinelerinin çalışmadığı zamanlarda beklenen yerdir.

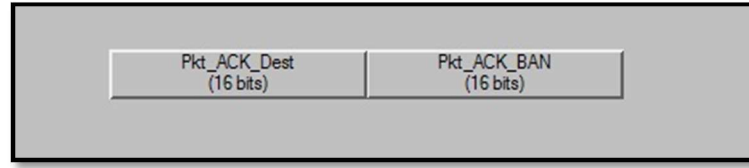
### 3.4.5. Paket biçimleri

Tasarlanan OEK protokolünün benzetiminde birden çok paket formatı kullanılmaktadır. Veri paketi, algılayıcı düğümlerin ortamdan algıladıkları fiziksel değerleri merkez düğümüne aktarırken kullandıkları paket türüdür. Paketin içeriğinde paketi gönderen düğüm adresi, paketin hedef adresi, ağ numarası ve ham veri Şekil 3.13'te görüldüğü gibi yer almaktadır.



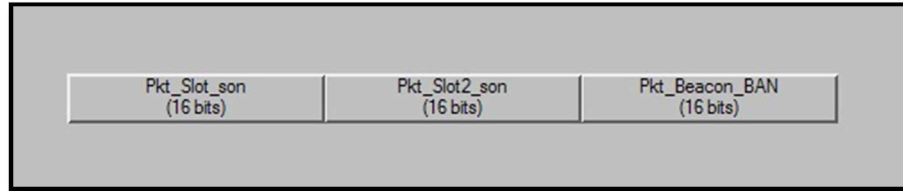
Şekil 3.13. Veri paketi

ACK paketi, baz istasyonu tarafından veri paketi alındığı zaman güvenilirlik önceliği olan durumlarda onay paketi olarak algılayıcı düğümüne gönderilir. ACK paketi ağ numarası ve hedef düğümün adres bilgilerini içermektedir. Şekil 3.14'te ACK paketi yapısı verilmektedir.



Şekil 3.14. ACK paketi

İşaret sinyali paketi, iki kısımdan oluşan ana-çerçeve yapısının özelliklerinin iletildiği ve ana-çerçeve başlangıcının belirtildiği paket türüdür. Paketin içeriğinde ana-çerçevenin ilk ve ikinci kısımlarının sınırları ve ağın numarasına ait kısımlar Şekil 3.15’te yer almaktadır.



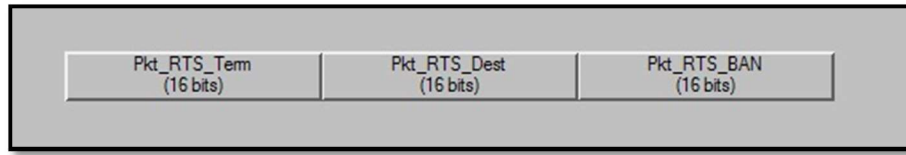
Şekil 3.15. İşaret sinyali paketi

İşaret sinyali-2 paketi, ağın hazırlıksız erişime geçmesi gerektiğini bildiren paket türüdür. Şekil 3.16’da işaret sinyali-2 paketi gösterilmektedir. Sadece ağın numarasının yer aldığı bilgi gönderilmektedir.



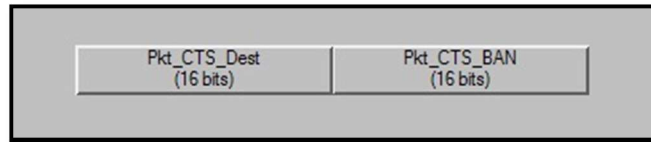
Şekil 3.16. İşaret sinyali-2 paketi

RTS paketi, çekişmeli zaman dilimlerinde algılayıcı düğüm paket göndermek istediği zaman ortamın dolu olup olmadığını anlamak için baz istasyonuna istek göndermek için kullandığı paket türüdür ve Şekil 3.17’de gösterilmektedir. RTS paketi ile, gönderici düğüm adresi, hedef düğüm adresi ve ağ numarası bilgileri gönderilmektedir.



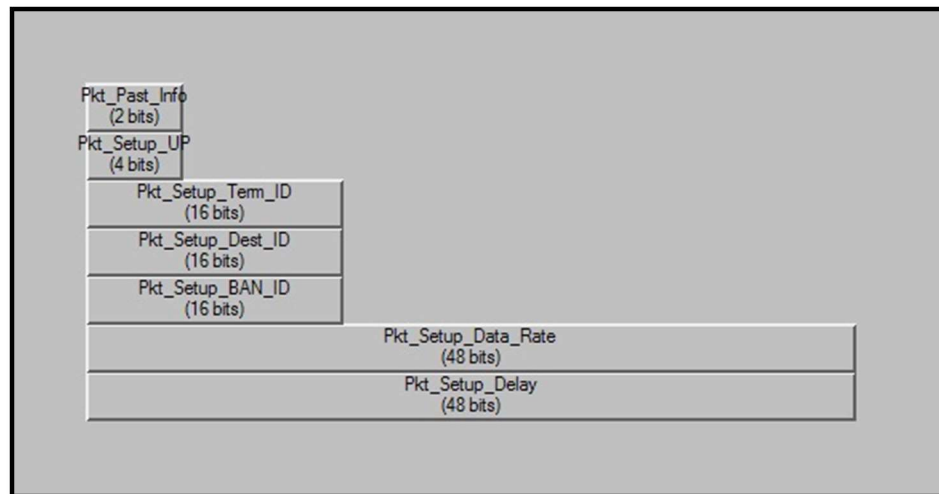
Şekil 3.17. RTS paketi

CTS paketi, çekişmeli zaman dilimlerinde baz istasyonu tarafından RTS paketine karşılık iletişim için uygun olduğunu belirtmek için gönderdiği cevap paketidir. İçerik olarak ise sadece hedef düğüm adresi ve ağ numarası bilgisi yer almaktadır ve Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



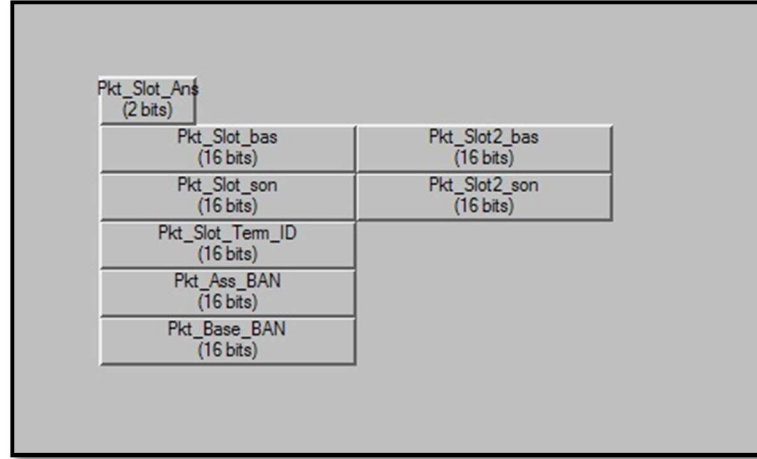
Şekil 3.18. CTS paketi

Kurulum istek paketi, kurulum fazında düğümlerin özelliklerini ve gerekli bilgilerini baz istasyonuna gönderdiği paket türüdür. Şekil 3.19’de görüldüğü gibi paketin içeriğinde düğümün daha önce kurulum isteği yapıp yapmadığını belirten bilgi, düğüm önceliği bilgisi, kaynak düğüm adresi, hedef düğüm adresi, ağ numarası, düğümün veri iletim hızı ve gerekli gecikme bilgisi yer almaktadır.



Şekil 3.19. Kurulum istek paketi

Kurulum atama paketi, kurulum fazında düğümlerden gelen istek paketleri değerlendirildikten sonra baz istasyonu tarafından düğümlere gönderilen cevap paketidir. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi bu pakette istek yapan düğümün ağa dâhil olup olamayacağı, eğer ağa dâhil olacak ise hangi zaman dilim aralığı tahsis edildiği, hedef düğüm adresi ve ağ numarası bilgileri yer almaktadır.



Şekil 3.20. Kurulum atama paketi

## **BÖLÜM 4. ÖRNEK BİR AĞ BENZETİMİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ**

### **4.1. Giriş**

Geliştirilen OEK protokolünün başarımlarını değerlendirme iki farklı senaryoda ele alınmıştır. İlk senaryoda, medikal uygulamalarda kullanılan gerçek parametreler seçilmiştir. Geliştirilen OEK protokolü, IEEE 802.15.4 ve IEEE 802.15.6 protokolleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci senaryoda ise, geliştirilen OEK protokolüne en yakın özelliklere sahip olan, literatürdeki PLA-MAC ve PNP-MAC ile karşılaştırılması için aynı değerler kullanılmıştır. Önerilen tez çalışmasının başarımlarını değerlendirme uçtan-uca gecikme, paket kayıp oranı ve iş çıkarma oranı parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma metrikleri KVAA'lar için başarımlarını değerlendirilmesinde kullanılan temel üç metrik olduğundan dolayı seçilmiştir.

### **4.2. Benzetim Parametreleri**

Medikal uygulamalarda kullanılan uygulama türünün gereksinimlerine, veri hızına ve ana-çerçeve yapısının özelliklerine göre düğümlere tahsis edilecek zaman dilimleri belirlenmektedir. Kablosuz vücut alan ağlarında, fiziksel katmandaki iletişim dar-bant ile sağlandığından dolayı veri hızı 250 Kbit/s seçilmiştir. Bir ana-çerçeve 128 adet zaman diliminden oluşmaktadır ve birinci senaryoda her bir zaman dilimi 245,76 ms, paket boyutu 50 bayt ve ikinci senaryoda zaman dilimi 1 saniye, paket boyutu da 32 bayt olarak belirlenmiştir. Tablo 4.1'de mevcut uygulamaların benzetimine ait parametreler verilmektedir.



Tablo 4.1. Benzetim parametreleri

<i>Parametre</i>	<i>Senaryo-1</i>	<i>Senaryo-2</i>
<i>Veri Hızı</i>	250 Kbit/s	250 Kbit/s
<i>T<sub>dilim</sub></i>	1,92 ms	7,68 ms
<i>Zaman dilimi sayısı</i>	128	128
<i>T<sub>Ana-çerçeve</sub></i>	245,76 ms	1 s
<i>Frekans</i>	2,4 GHz	2,4 GHz
<i>Alan</i>	10m x 10m	10m x 10m
<i>Simülasyon Zamanı</i>	90 s	100 s
<i>Paket Boyutu</i>	50 bayt	32 bayt
<i>Kablosuz kanal modeli</i>	Serbest uzay (Free Space)	Serbest uzay (Free Space)

Tablo 2.2'deki ISO/IEEE 11073 standardına bağlı olan servis kalitesi gereksinimleri göz önüne alındığında ve Tablo 4.1'deki benzetim parametreleri uygulandığı zaman medikal uygulama sınıflarının özellikleri belirlenmiştir. Uygulama sınıflarına ait veri iletim hızı, gecikme değerleri, gerekli zaman dilimi ve kaç periyotta bir tekrar edeceği ( $m$ ) bilgileri Tablo 4.2'te verilmektedir. Örnek bir düğüme (F3 sınıfı için) tahsis edilmesi gereken zaman dilimi sayısı (ZDS) Denklem 4.1'de ve  $m$  sayısı Denklem 4.2'de gösterilmektedir;

$$ZDS = \left\lceil \frac{72000 \times 0,24576}{(250.000) \times 0,00192} \right\rceil \cong [36,864] = 37 \quad (4.1)$$

$$\left( \frac{(72000) \times 0,00192}{0,24576} \right) \geq 1 \Rightarrow m = 1 \quad (4.2)$$

Tablo 4.2. Medikal uygulama sınıflarının gereksinimleri

Uygulama Sınıfı	Uygulama Hızı (Bit/Saniye)	Gecikme (Saniye)	Zaman Dilimi Sayısı (Hesaplanan)	$m$ (Hesaplanan)
A1	2560	0,2	2	1
A2	170,6	3	1	12
B	170.6	3	1	12
C	8,5	60	1	244
D	4352	3	3	1
E1	80	3	1	12
E2	800	3	2	12
F1	2400	0,3	2	1
F2	10000	0,3	6	1
F3	72000	0,3	37	1
F4	60	0,3	1	1
F5	120	0,3	1	1

Benzetim çalışmasında kullanılmak üzere seçilen sıcaklık, SpO<sub>2</sub>, EKG, ivme ölçer ve glikoz algılayıcıları ve algılayıcı düğümlerin özellikleri Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3. Örnek uygulamada kullanılan algılayıcılar

Algılayıcı	Uygulama Sınıfı	Uygulama Hızı (Bit/Saniye)	Gecikme (Saniye)	Zaman Dilimi Sayısı (Hesaplanan)	$m$ (Hesaplanan)
<i>Sıcaklık</i>	E1	80	3	1	12
<i>SpO<sub>2</sub></i>	F5	120	0,3	1	1
<i>EKG</i>	F3	72000	0,3	37	1
<i>İvme Ölçer</i>	F6	43200	0,3	23	1
<i>Glikoz</i>	E3	1600	0,3	1	1

### 4.3. Başarım Değerlendirmesi

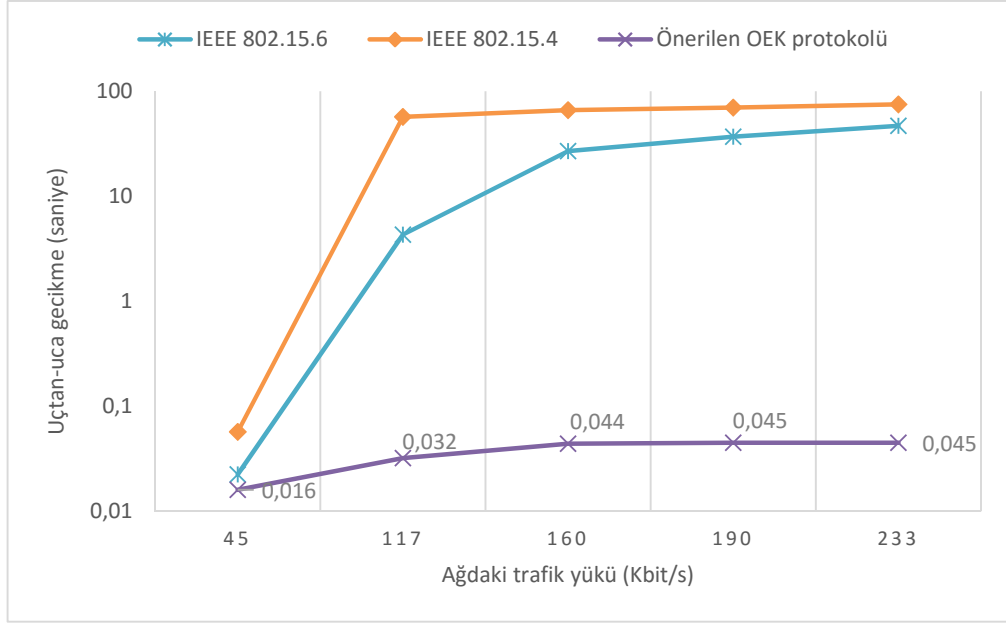
Birinci senaryo, yıldız topolojiye dayanmaktadır ve beş farklı trafik yükü (trafik-1: 45 Kbit/s, trafik-2: 117 Kbit/s, trafik-3: 160 Kbit/s, trafik-4: 190 Kbit/s, trafik-5: 233 Kbit/s) tanımlanmıştır. Trafik yüklerini değiştirmek için Tablo 4.3'te verilen

düğümlemlerden farklı sayıda algılayıcılar kullanılmıştır. Örneğin trafik-3 için sıcaklık, SpO<sub>2</sub>, EKG, glikoz ve iki adet ivme-ölçer algılayıcı düğümleri kullanılmıştır.

İkinci senaryoda yine ağ yapısı yıldız topolojiye dayanmaktadır ve bir merkezi düğüme bağlı yedi adet algılayıcı düğüm bulunmaktadır. Önerilen OEK protokolü, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, PNP-MAC ve PLA-MAC ile karşılaştırılmıştır. Bu düğümler aynı veri iletim oranına sahiptir. Fakat düğümlerin saniye başına üretilen paket sayısı 1 ile 7 arasında değiştirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

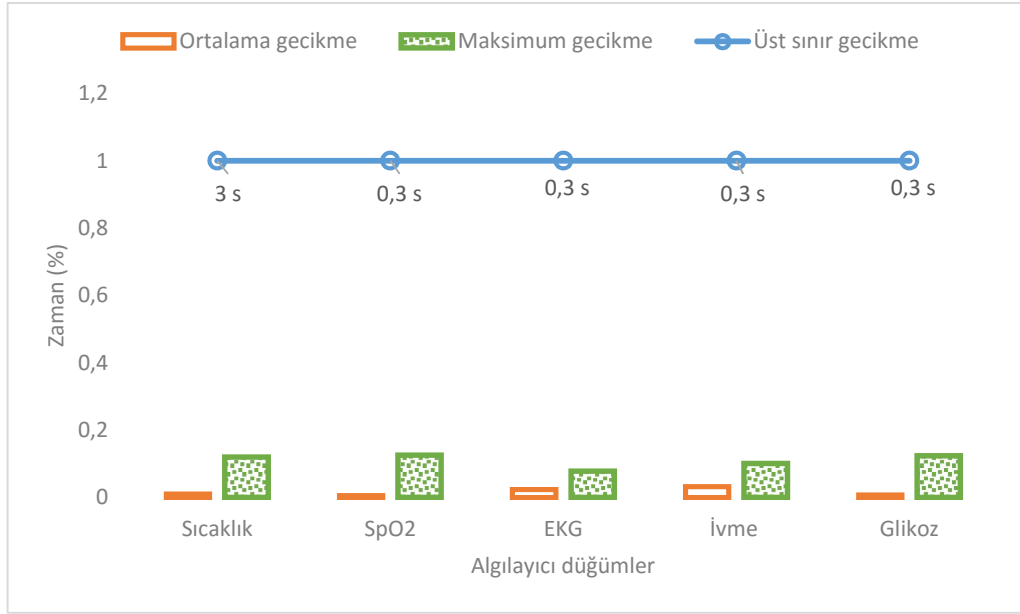
#### 4.3.1. Senaryo-1'e ait başarıml değerlendirmesi

Uçtan-uca gecikme, paketin üretilme zamanı ile hedefe ulaşma zamanı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, geliştirilen OEK protokolünün gecikme süresi 16 ms ile 45 ms arasında değişmektedir. ISO/IEEE 11073 standartlarına göre üst sınır gecikme değeri olan 300 ms değerini aşmadığı görülmektedir. Zaman dilimi tahsis şeması, istenilen gecikme değerlerinin elde edilmesinde en önemli faktör olmuştur. Bunun yanında iki bölümden oluşan ana-çerçeve yapısı da gecikme değerlerinin azaltılmasına katkı sağlamıştır. IEEE 802.15.4 protokolü sınırlı GZD sayısına sahip olduğundan ve kısıtlı ana-çerçeve yapısından dolayı yüksek çıkmaktadır. Aynı şekilde, KVAA'lar için geliştirilen IEEE 802.15.6 protokolü de zamana bağlı olarak artan bir grafik ile yüksek gecikme değerine sahiptir. Grafikler incelendiğinde yüksek trafik hızına ulaşıldığında diğer protokollerin kuyruklarının dolması sonucu sürekli bir şekilde paket gecikme süreleri artmaktadır. Bunun sonucu olarak da paket kayıpları yaşanmaktadır.



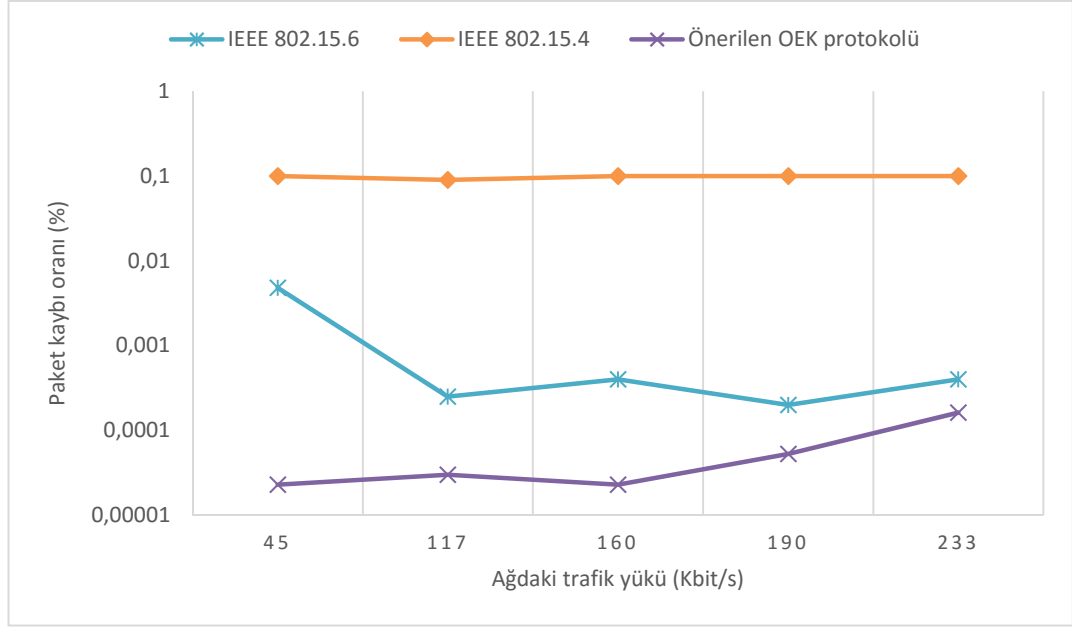
Şekil 3.1. Uçtan-uca gecikme

Geliştirilen OEK protokolünde öncelik mekanizması ve zaman dilimi tahsis şeması sayesinde farklı tipteki trafik türlerine gerekli zaman dilimleri tahsis edilebilmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi farklı türdeki düğümlere garanti edilen gecikme süreleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 4.2’deki üst sınır gecikme süreleri senaryoda kullanılan algılayıcılara aittir. Şekilden görüldüğü gibi algılayıcılara ait maksimum gecikme değerleri Tablo 4.3’teki üst sınır gecikme değerinden çok düşük çıkmaktadır. Düğümlere ait maksimum gecikme değerleri; sıcaklık algılayıcısı için 119 ms, SpO<sub>2</sub> algılayıcısı için 125 ms, EKG algılayıcısı için 78 ms, ivme algılayıcısı için 101 ms ve glikoz algılayıcısı için ise 124 ms olarak gerçekleşmiştir. Ortalama gecikme değerleri ise 5 ms ile 32 ms arasında değişiklik göstermektedir.



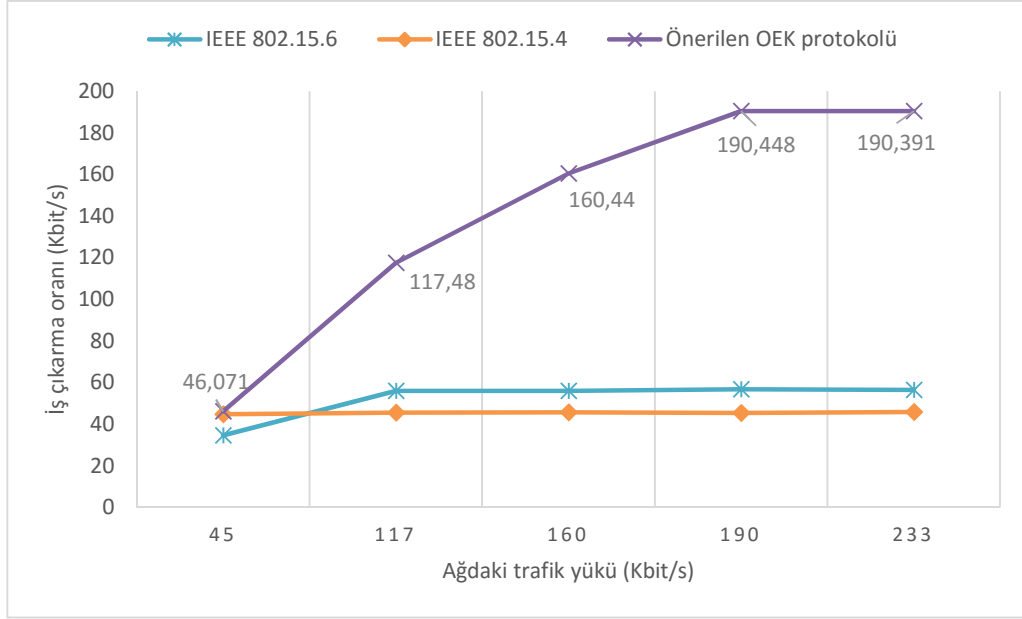
Şekil 4.2. Düğümlerin gecikme karşılaştırması

Şekil 4.3'te, geliştirilen OEK protokolü ile diğer protokoller arasındaki paket kayıp oranları karşılaştırılmıştır. Paket kayıp oranı, paket iletimindeki paket kayıplarının gönderilen paket sayısına oranıdır. Paket kaybı haberleşme sırasında bozulmadan dolayı gerçekleşebilmektedir. Fakat bazı paket kayıpları da ağdaki tıkanıklıktan veya gönderilemeyen paketlerin kuyruğu doldurması sonucu oluşmaktadır. Geliştirilen OEK protokolünün uyarlanabilir ana-çerçeve yapısı, kanal tahsis mekanizması ve zaman dilimi tahsis şeması sayesinde diğer protokollerden daha düşük paket kayıp oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle gerekli veri iletimi güvenirliliği başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Diğer bir açıdan, geliştirilen OEK protokolü yaklaşık olarak %99.9999 paket iletim oranına sahiptir.



Şekil 4.3. Paket kaybı oranı

Şekil 4.4'te değişken trafik yüklerinde, protokollerin iş çıkarma oranları karşılaştırılmıştır. İş çıkarma oranı, başarılı bir şekilde iletilen veri paket miktarı ile ölçülmektedir. Ağdaki trafik yükü 45 Kbit/s ile 233 Kbit/s arasında değişmektedir. IEEE 802.15.6 protokolü periyodik trafikler için sağlam bir çizelgeleyici şemasına sahip olmadığından dolayı daha düşük bir iş çıkarma oranına sahiptir. Bu protokolde iş çıkarma oranı en fazla 55 Kbit/s değerine kadar çıkabilmektedir. IEEE 802.15.4'teki sabit GZD ve öncelik mekanizması eksikliklerinden dolayı en düşük iş çıkarma oranına sahip olmaktadır. Bu protokolde ise en fazla 45 Kbit/s değerine kadar çıkabilmektedir. Geliştirilen OEK protokolünde ise zaman dilimi tahsis şeması ve dinamik ana-çerçeve yapısı sayesinde 190 Kbit/s değerine kadar çıkabildiği gözlemlenmektedir ve diğer protokollerin yaklaşık üç veya dört katı kadar iş çıkarma oranı elde edilmiştir.

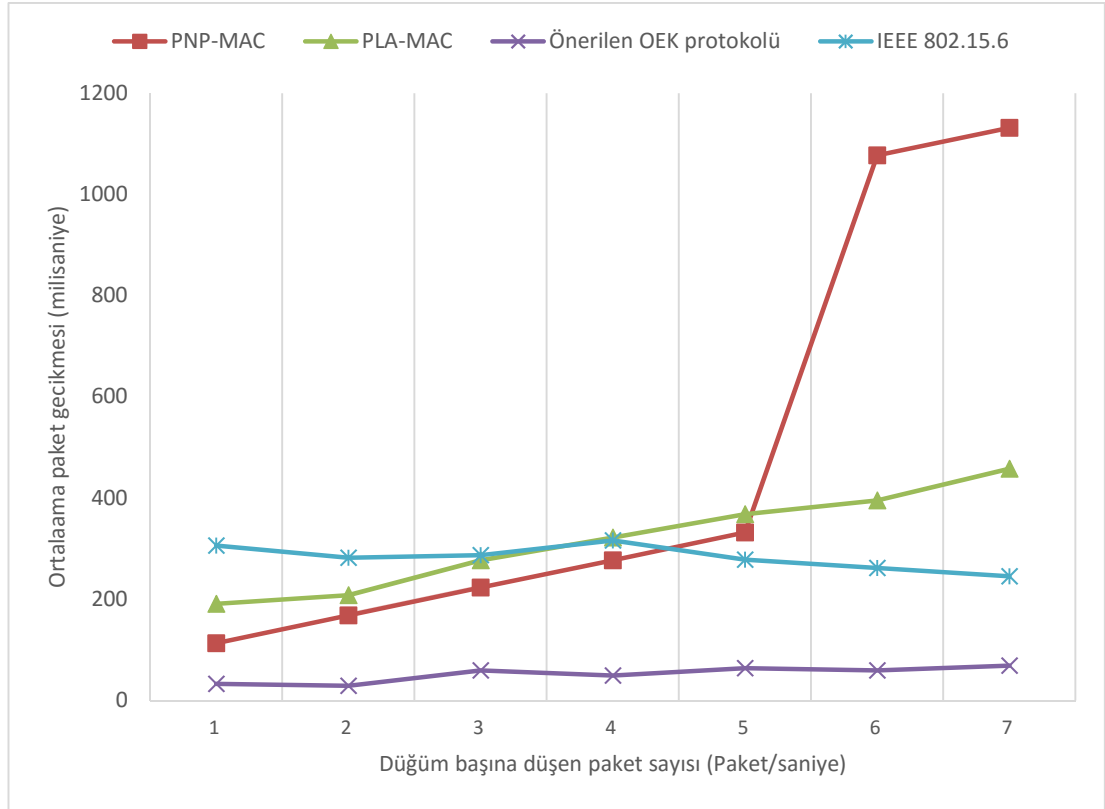


Şekil 4.4. Senaryo-1'e ait iş çıkarma oranı

#### 4.3.2. Senaryo-2'ye ait başarımlı değerlendirilmesi

Şekil 4.5'te trafik yüküne bağlı olarak ortalama paket gecikme karşılaştırması sunulmaktadır. Geliştirilen OEK protokolü IEEE 802.15.4 hariç diğer protokoller ile karşılaştırılmıştır. IEEE 802.15.4 protokolü çok yüksek gecikme süresine (1 saniye ile 8 saniye arası) sahip olduğu için karşılaştırmada ihmal edilmiştir. Geliştirilen OEK protokolünün ortalama paket gecikmesi 51 ms elde edilmiştir. Bu değer en yakın protokolün yaklaşık ortalama altı katı kadardır. Sağlam bir zaman dilimi tahsis şeması ve öncelik mekanizması sayesinde veri iletiminin artması gecikmeyi düşük seviyede tutmaktadır.

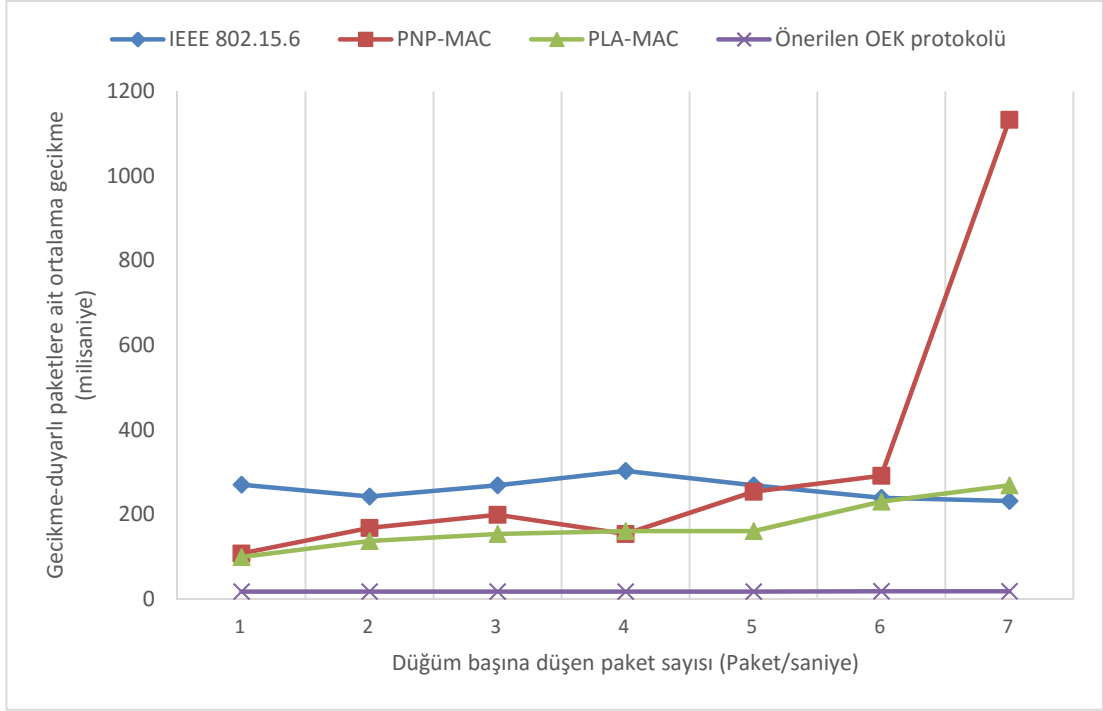
En yüksek ağ trafiği olan 7 paket/s'de bile önerilen OEK protokolü diğer protokollerden daha düşük değere sahiptir. Diğer protokollerde ortalama paket gecikmesi 113 ms ile 1,132 s arasında değişmektedir. Grafikler incelendiğinde diğer bütün protokollerin ISO/IEEE 11073 standartlarına uygun olmayan gecikme değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Ortalama paket gecikmesi

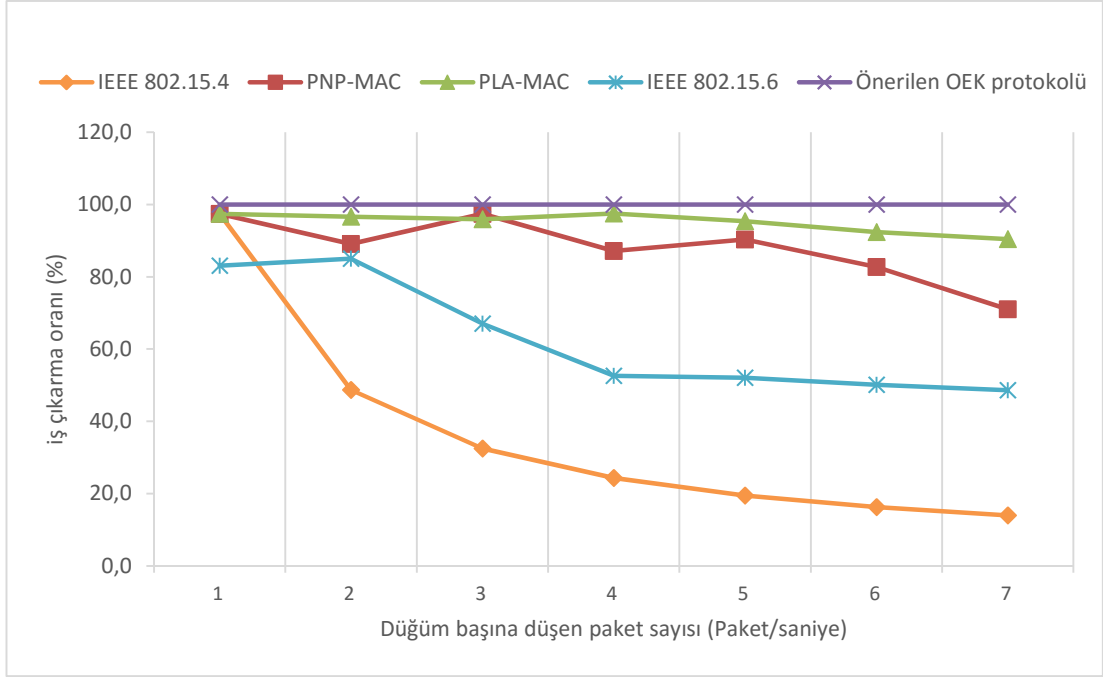
Şekil 4.6'da trafik yüküne göre gecikme-duyarlı paketlere ait ortalama gecikme süreleri verilmiştir. IEEE 802.15.4 protokolünde öncelik mekanizması bulunmadığından dolayı göz ardı edilmiştir. Geliştirilen OEK protokolünün gecikme öncelikli paketler için ortalama gecikmesi 18 ms'dir. Diğer protokollerde gecikmeye duyarlı paketlere ait gecikme değerleri 100 ms ile 1,133 s arasında değişiklik göstermektedir. Ölçülen en yakın değere sahip PLA-MAC protokolü 173 ms'dir. Diğer protokollerde gecikme-duyarlı paketlerde bile ISO/IEEE 11073 standardına göre belirlenen üst sınır gecikme değerini aşan değerler olmaktadır. Trafik yükü düşük olmasına rağmen gecikmelerdeki fark belirgin bir şekilde görülmektedir.





Şekil 4.6. Gecikme-duyarlı paketlere ait ortalama gecikme

Şekil 4.7’de trafik yüküne göre iş çıkarma oranları sunulmaktadır. Geliştirilen OEK protokolü %100 başarı sağlamıştır. Önerilen OEK protokolünde öncelik mekanizması ve zaman dilimi tahsis şeması sayesinde bu başarı gerçekleştirilmiştir. Diğer üst sıradaki protokollerin değerlerinin yakın çıkmasının nedeni, veri iletim hızının düşük olduğundan kaynaklanmaktadır ve trafik yükü arttıkça farkta daha da belirginleşmektedir. Ağ trafiği 7 paket/s’ye çıktığında iş çıkarma oranı PLA-MAC %90 değerine, PNP-MAC %71 değerine, IEEE 802.15.6 % 48, IEEE 802.15.4 %13 değerine kadar çıkabilmektedir.



Şekil 4.7. Senaryo-2'ye ait iş çıkarma oranı

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **5.1. Giriş**

Bu doktora tezinde, KVAA'lar için katmanlararası yapıya sahip, ISO/IEEE 11073 standartlarına göre servis kalitesi desteğini sağlayan yeni bir OEK protokolü tasarımı ve değerlendirmesi sunulmaktadır. Önerilen OEK protokolünde, OEK katmanı, uygulama katmanı ve fiziksel katmanın birlikte çalışması için katmanlararası yapı benimsenmiştir. Böylelikle, kullanıcı istekleri uygulama katmanı aracılığıyla dikkate alınabilmektedir ve bit hata oranının azaltılması için fiziksel katman ile etkileşim sağlanmıştır. Öncelik mekanizması, gecikme ve güvenilirlik kısımlarından oluşmaktadır ve dinamik olarak sınıflandırılmayı sağlamaktadır. Servis kalitesi sağlama parametrelerinden olan gecikme ve iş çıkarma oranı, zaman dilimi tahsis mekanizması ve melez erişim mekanizması sayesinde iyileştirilmiştir. Ek olarak, servis kalitesinin sürdürülebilirliği kabul kontrol mekanizması ile güçlendirilmiştir.

Önerilen OEK protokolünün modellenmesi ve benzetiminde OPNET Modeller yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen OEK protokolü KVAA'larda en çok kullanılan standart diğer teknolojilerle (IEEE 802.15.4 ile IEEE 802.15.6) ve literatürdeki yakın zamanda sunulan protokollerden PLA-MAC ve PNP-MAC ile karşılaştırılmıştır. Sunulan OEK protokolü servis kalitesi gereksinim parametrelerinden olan iş çıkarma oranı, paket kayıp oranı ve uçtan-uca gecikme dikkate alındığında daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. İş çıkarma oranı dikkate alındığında yüksek trafik hızında geliştirilen OEK protokolü diğer protokollerden üç-dört kata yakın iş çıkarma oranına sahip çıkmaktadır. Paket iletim oranına bakıldığında, geliştirilen OEK protokolü yaklaşık olarak %99,9999 paket iletim oranına sahiptir. Gecikme değerleri dikkate alındığında ise geliştirilen OEK protokolü diğer çalışmalardan beş-altı kat daha düşük gecikme değerine sahip olduğu görülmektedir.

Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde önerilen OEK protokolüne ait sonuçların ISO/IEEE 11073 standardının gereksinimlerini tamamen sağladığı gözlenmektedir. Karşılaştırılan diğer protokoller, genel olarak ISO/IEEE 11073 standardının gereksinimlerini sağlasa da bütün olarak incelendiğinde birçok durumda standardın gereksinimlerini karşılayamadıkların görülmektedir.

## 5.2. Öneriler

Tez çalışması kapsamında önerilen OEK protokolünde, bir KVAA içerisinde yer alan düğümler arasındaki iletişim dikkate alınmıştır. Bir sonraki adım olarak, birçok KVAA'nın bulunduğu bir ortamda, ağlar arasındaki haberleşmenin de dikkate alınacağı bir çalışma gerçekleştirilebilir. Buna ek olarak, benzetimi sunulan OEK protokolünün uygulaması gerçekleştirilebilir. Uygulama türüne göre ek nitelikler kazandırılabilir. Güvenlik esaslı olan bir askeri uygulama olması durumunda şifreleme gibi modül eklenerek güvenli iletişim sağlanabilir. Eğer, enerji tüketiminin çok daha önemli olduğu bir uygulama türü seçilirse gerekli iyileştirmeleri içeren bir modül ile istenen enerji tasarrufu sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Ali, K., Sarker, J., Mouftah, H. 2010. Urgency-based MAC protocol for wireless sensor body area networks. *Communications Workshops*, 1–6.
- Anjum, I., Alam, N., Razzaque, Md.A., Hassan, M.M., Alamri, A. 2013. Traffic Priority and Load Adaptive MAC Protocol for QoS Provisioning in Body Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013.
- Barua, M., Alam, M., Liang, X., Shen, X. 2011. Secure and quality of service assurance scheduling scheme for wban with application to ehealth. *Wireless Communications and Networking Conference*, 1102–1106.
- Baschiroto, A., Van Roermund, A. H., & Steyaert, M. 2012. *Analog Circuit Design: Low Voltage Low Power; Short Range Wireless Front-ends; Power Management and DC-DC*. Springer.
- Bradai, N., Fourati, LC., & Kamoun L. 2014. Investigation and performance analysis of MAC protocols for WBAN networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 46: 362-373.
- Cao, H., González-Valenzuela, S., Leung, V.C. 2010. Employing IEEE 802.15.4 for quality of service provisioning in wireless body area sensor networks. *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 902-909.
- Chen, B., Dario, P. 2011. Transmission of patient vital signs using wireless body area networks. *Mobile Networks and Applications*, 16(6): 663-682.
- Chen, D., Varshney, P.K. 2004. QoS support in wireless sensor networks: a survey. *International Conference on Wireless Networks*, Las Vegas, 227-233.
- Cheng, S., Huang, C., Tu, C.C. 2011. RACOON: A Multiuser QoS Design for Mobile Wireless Body Area Networks. *Journal of Medical Systems*, 35(5):1277-1287.
- Davenport, D., Seidl, N., Moss, J., Patel, M., Batra, A., Ho, J.M., Hosur, S., Roh, J.Ch., Schmidl, T., Omeni, O., Wong, A. 2009. Medwin MAC and Security Proposal –Part 1 of 2. Proje: IEEE P802.15-09-0326-00-0006-medwin-mac-and-security-proposal-presentation-part-1-mac.
- Garcia, J., Falck, T. 2009. Quality of service for IEEE 802.15.4-based wireless body sensor networks. *Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 1–6.

- Gopalan, S.A., & Park, J.T. 2010. Energy-efficient MAC protocols for wireless body area networks: survey. *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, 739-744.
- Ha, I. 2015. Technologies and Research Trends in Wireless Body Area Networks for Healthcare: A Systematic Literature Review. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 501: 573538.
- Huq, M.A., Dutkiewicz, E., Fang, G., Liu, R.P., Vesilo, R. 2012. MEB MAC: improved channel access scheme for medical emergency traffic in WBAN. *International symposium on communications and information Technologies*, 371–376.
- Hughes L., Wang X., Chen T. 2012. A review of protocol implementations and energy efficient cross-layer design for wireless body area networks. *Sensors* 12(11): 14730-14773.
- Kateretse, C., Lee, G.W., Huh, E.N. 2012. A Practical Traffic Scheduling Scheme for Differentiated Services of Healthcare Systems on Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 1-19.
- Kim, B., Cho, J. 2012. A Novel Priority-based Channel Access Algorithm for Contention-based MAC Protocol in WBANs, 6. *International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*, 1-5.
- Kwak, K.S., Ullah, S., An, X., Ameen, M.A., Liu, J., Kim, B., Lee, H., Kim, J. 2009. A traffic-based secure MAC protocol for WBAN with bridging function. *Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs)*.
- Li, C., Geng, X., Yuan, J., Sun, T. 2013. Performance Analysis of IEEE 802.15.6 MAC Protocol in Beacon Mode with Superframes. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 7(5): 1108-1130.
- Li, C., Hao, B., Zhang, K., Liu, Y., Li, J. 2011. A Novel Medium Access Control Protocol with Low Delay and Traffic Adaptivity for Wireless Body Area Networks. *Journal of Medical Systems*, 35(5): 1265-1275.
- Li, C., Wang, L., Li, J., Zhen, B., Li, H.B., Kohno, R., 2009. Scalable and robust medium access control protocol in wireless body area networks. *Indoor and Mobile Radio Communications*, 2127–2131.
- Masse, F., Penders, J. 2010. Quality-of-service in BAN: PER reduction and its trade-offs. *International Conference on Body Sensor Networks (BSN)*, Singapore, 261–266.
- Mendes L.D., Rodrigues J.J. 2011. A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(2): 523-534.

- Monowar, M.M., Hassan, M.M., Bajaber, F., Al-Hussein, M., Alamri, A. 2012. McMAC: Towards a MAC Protocol with Multi-Constrained QoS Provisioning for Diverse Traffic in Wireless Body Area Networks. *Sensors*, 12, 15599-15627.
- Olifer, N., Olifer, V. 2005. *Computer Networks: Principles, Technologies and Protocols for Network Design*, John Wiley and Sons Ltd.
- Ragesh, G.K. Ve Baskaran, K. 2012. An overview of applications, standards and challenges in futuristic wireless body area networks. *International Journal of Computer Science Issues*, 9(2): 180-186.
- Rahman, O.Md., Hong, C.S., Lee, S., Bang, Y.C. 2011. ATLAS: a traffic load aware sensor MAC design for collaborative body area sensor networks *Sensors*, 11(12): 11560–11580.
- Rahim A., Javaid Aslam M., Rahman Z., Qasim U., Khan Z.A. 2012. A comprehensive survey of MAC protocols for wireless body area networks. *Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications*, 434-439.
- Sevin A., Akif Akgül A., Çakıroğlu M. 2014. Kablosuz Vücut Alan Ağlarında Ortam Erişim Protokolleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3): 157-165.
- Su, H., Zhang, X. 2009. Battery-dynamics driven TDMA MAC protocols for wireless body-area monitoring networks in healthcare applications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 27(4): 424–434.
- Tachtatzis, C., Franco, F., Tracey, D.C., Timmons, N.F., Morrison, J. 2011. An Energy Analysis of IEEE 802.15.6 Scheduled Access Modes for Medical Applications, *Ad Hoc Networks*, Springer Berlin Heidelberg, 209-222.
- Thapa, A., Shin, S. 2012. QoS provisioning in wireless body area networks: a review on MAC aspects, *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 6(5): 1267-1285.
- Ullah, S., Kwak, K. 2010. An Ultra Low-power and Traffic adaptive Medium Access Control Protocol for Wireless Body Area Network. *Journal of Medical Systems*, 1–10.
- Ullah S., Higgins H., Brae, B., Latre B., Blondia C., Moerman I., Kwak K.S. 2012. A comprehensive survey of wireless body area networks. *Journal of medical systems*, 36(3): 1065-1094.
- Ullah S, Shen B., Riazul Islam S.M., Khan P., Saleem S., Kwak, K.S. 2009. A study of MAC protocols for WBANs. *Sensors*, 10(1): 128-145.
- Yan, Z., Liu, B., Chen, C.W. 2012. QoS-driven scheduling approach using optimal slot allocation for Wireless Body Area Networks. *e-Health Networking, Applications and Services*, 267-272.

- Yoon, J., Ahn, G.S., Joo, S.S., Lee, M. 2010. PNP-MAC: Preemptive slot allocation and non-preemptive transmission for providing QoS in body area networks. Consumer Communications and Networking Conference, 1–5.
- Yüce, M. R., ve Khan, J. 2011. Wireless body area networks: technology, implementation, and applications. CRC Press.
- Zhang, Y., Dolmans, G. 2009. A New Priority-Guaranteed MAC Protocol for Emerging Body Area Networks. 9. International Conference on Wireless and Mobile Communications, French Riviera, 140–145.
- Zhang, Y., Dolmans, G., Huang, L., Huang, X. 2009. IMEC Narrowband MAC Proposal. Proje: IEEE P802.15-09-0341-01-0006-imec-narrowband-mac-proposal-presentation.
- Zhou, G., Li, Q., Li, J., Wu, Y., Lin, S., Lu, J., Wan, C.Y., Yarvis, M. D., ve Stankovic, J. A. 2011. Adaptive and radio-agnostic QoS for body sensor networks. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 10(4): 34.



## ÖZGEÇMİŞ

Abdullah SEVİN, 1985'de Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Nilüfer ilçesinde tamamladı. 2003 yılında Bursa Fatih Lisesinden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Öğretmenliği bölümünü 2008 yılında tamamladı. Ardından 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Enstitü Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve 2011 yılında yüksek lisans eğitimini bitirdi. Aralık 2009'da Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Doktora eğitimine Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliğinde 2011 yılında başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.