



KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞLARI ARASI AODV TABANLI YÖNLENDİRME ALGORİTMASININ BAŞARIM ANALİZİ

Seda SAVAŞCI ŞEN^{1*}, Murtaza CİCİOĞLU², Ali ÇALHAN³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

²Bilişim Teknolojileri Bölümü, Milli Eğitim Bakanlığı, Bolu, Türkiye

³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Kablosuz Vücut Alan Ağları,
AODV Algoritması,
IEEE 802.15.6,
Yönlendirme.*

Öz

Vücut ısı, kalp ritmi ve solunum oranı gibi hayati veriler insan sağlığının değerlendirilmesi ve olası problemlerde anında müdahale edilebilmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu yaşamsal ve fiziksel verilerin izlenmesinde ve değerlendirmesinde çeşitli sistemler kullanılabilir. Uzaktan sağlık izleme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA) başta sağlık olmak üzere sportif, askeri ve etkileşimli oyunlar gibi birçok alanda uygulamalara konu olmuştur. Özellikle daha yoğun ortamlarda KVAA donanımlarını taşıyan bireylerin koordinatör düğümlerinin birbiri ile haberleşebilmesi (KVAA-arası) yönlendirme işlemlerinin önemini ortaya koymuştur. Bu çalışmada Riverbed Modeler benzetim yazılımında KVAA haberleşme ağı modellenmiştir. KVAA'lar arası haberleşmede verilerin hedeflerine başarılı bir şekilde ulaşmaları amacıyla AODV yönlendirme protokolü kullanılmıştır. KVAA-ıçi haberleşmede ise IEEE 802.15.6 protokolü kullanılmış ve tasarlanan sistemin başarımları için uçtan-uçta gecikme, enerji tüketimi ve iş çıkarma oranı gibi ağ başarımları parametreleri incelenmiştir.

PERFORMANCE ANALYSIS OF AODV BASED ROUTING ALGORITHM INTER WIRELESS BODY AREA NETWORKS

Keywords

*Wireless Body Area
Networks,
AODV Algorithm,
IEEE 802.15.6,
Routing Algorithm.*

Abstract

Vital data such as body temperature, heart rhythm and respiration rate are very important in evaluating human health and intervening immediately in possible problems. Various systems can be used to monitor and evaluate these vital and physical data. Wireless Body Area Networks (WBANs), which are widely used in remote health monitoring systems, have been the subject of applications in many areas such as sports, military and interactive games, particularly health. Especially in more intense environments, the coordinator nodes of individuals carrying WBAN equipment can communicate with each other (inter-WBAN), revealing the importance of routing processes. In this study, WBAN communication network was modeled in Riverbed Modeler simulation software. AODV routing protocol has been used in order to reach the targets of data successfully in inter-WBAN communication. The IEEE 802.15.6 protocol was used for intra-WBAN communication and the end-to-end delay, energy consumption and throughput parameters were analyzed for the performance analysis of the proposed system.

Alıntı / Cite

Savaşçı Şen, S., Cicioğlu, M., Çalhan, A., (2020). Kablosuz Vücut Alan Ağları Arası AODV Tabanlı Yönlendirme Algoritmasının Başarımları Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1138-1149.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Savaşçı Şen, 0000-0001-8569-6454
M. Cicioğlu, 0000-0002-5657-7402
A. Çalhan, 0000-0002-5798-3103

Makale Süreci / Article Process

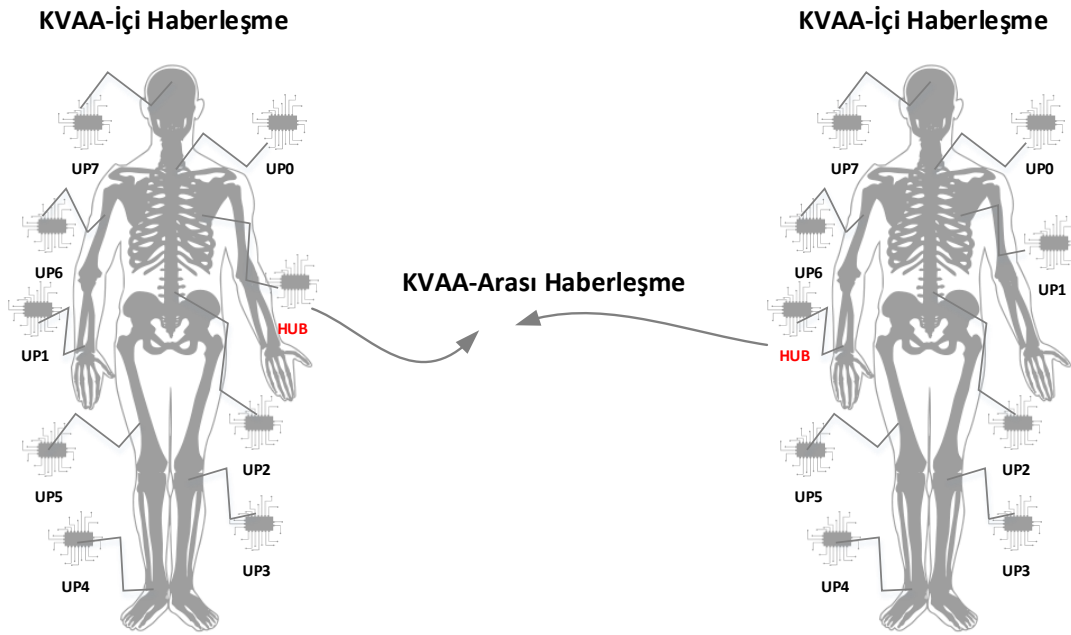
Başvuru Tarihi / Submission Date	20.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	20.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	19.11.2020
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: sedasavascisen@duzce.edu.tr, +90-546-822-62-00

1. Giriş (Introduction)

Ülkemizde günümüz sağlık hizmetlerinin yeterli düzeyde olmasına rağmen sürekli gözetim altında tutulmak zorunda kalan hastaların, engellilerin ve yaşlıların giderek artan sağlık giderleri ve hastane yatak doluluk oranları bu bireylerin evlerinde ya da çalıştıkları, buldukları alanlarda da gözetim altında tutulabilme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Kablosuz haberleşme ve algılayıcı düğüm teknolojilerindeki gelişmeler ise toplumdaki temel bazı ihtiyaçlara oldukça verimli çözümler önermektedir (Bingöl vd., 2018; Gökcan ve Kahraman, 2019; Tanrıöven ve Taşdelen 2020). Literatürde yapılan çalışmalar uzaktan sağlık izleme sistemlerinin bu ihtiyaçları karşılamak için geliştirilebileceği yönündedir (Bouazizi vd., 2017). İnsan vücudunun üzerine ya da çevresine yerleştirilebilecek algılayıcı düğümler sayesinde yaşamsal ve çevresel veriler toplanabilmektedir (Liu vd., 2019). Bu bilgiler vücut sıcaklığı, solunum oranı, nabız, konum, vb. şeklinde sıralanabilmektedir. KVAA içinde verileri toplayan algılayıcı düğümler topladıkları verileri bir koordinatör düğüme aktarmaktadır. Koordinatör düğüm üzerinde toplanan veriler uzak noktalara iletilmektedir. Nihayetinde çeşitli kablosuz haberleşme teknolojileri aracılığıyla ilgili doktor ya da sağlık birimlerinde bu veriler görüntülenebilmektedir.

İnsan vücudundaki algılayıcı ve koordinatör düğümlerin oluşturduğu kablosuz ortam KVAA-içi haberleşme ile sağlanmaktadır. Farklı KVAA'ların koordinatör düğümleri üzerinden birbirleri ile iletişime geçmeleri KVAA-arası haberleşme ismini almaktadır (Park 2019). Şekil 1'de KVAA-içi ve KVAA-arası haberleşme resmedilmiştir.



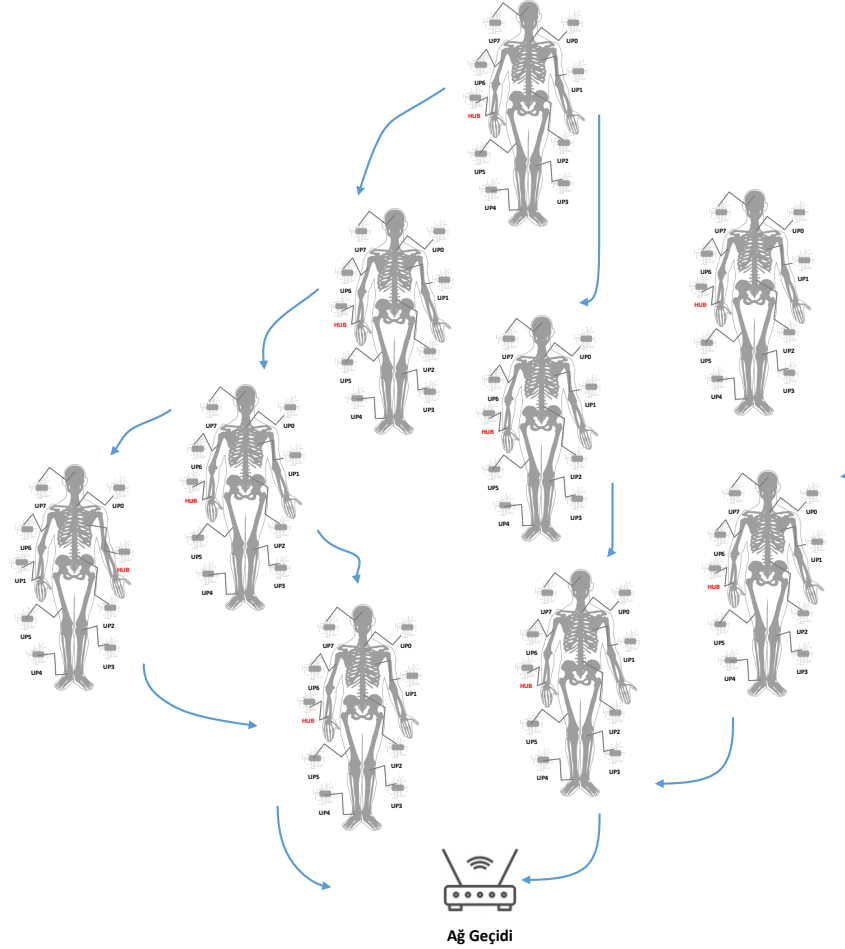
Şekil 1. KVAA-içi ve KVAA-arası haberleşme (Intra-WBAN and inter-WBAN communications)

KVAA'yı oluşturan algılayıcı düğümlerin ölçtüğü veriler birbirlerine göre farklı önem derecelerine ayrılmaktadır (Cicioğlu ve Çalhan 2019a). Öncelik sınıfı olarak adlandırılan bu önem dereceleri düşük öncelikten yüksek önceliğe doğru UP0'dan UP7'ye (user priority) sekiz sınıfa ayrılmaktadır (Jacob vd., 2017). Tablo 1'de öncelik sınıfları ve ilgili veriler sunulmuştur.

Tablo 1. KVAA kullanıcı öncelik sınıfları ve veri tipleri (V: Veri - Y: Yönetim) (WBAN user priority classes and data types (V: Data - Y: Management))

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

Öncelik sınıflarına göre koordinatör düğümler topladıkları verileri hedeflerine en az gecikme ile göndermeyi amaçlamaktadır. KVAA-içi haberleşme olarak adlandırılan bu haberleşmede koordinatör düğüm doğrudan ağ geçidine verileri gönderebilmelidir. Kapsama alanı dışında bulunan koordinatör düğümler uzak noktalara verileri gönderebilmek için KVAA-arası haberleşmeyi kullanması gerekmektedir. Bu sebeple koordinatör düğümler birbirleri üzerinden verileri gönderme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu işlem kablolu ve kablosuz ağ sistemlerindeki yönlendirme protokolleri sayesinde gerçekleştirilebilmektedir (Jahir vd., 2019). Şekil 2'de KVAA-arası yönlendirme işlemi resmedilmiştir.



Şekil 2. Örnek KVAA-arası yönlendirme işleminde olası rotalar (Possible routes in example inter-WBAN routing process)

Yönlendirme işlemi ara düğümlerin seçimi için bir dizi işlemden oluşmaktadır. Ara düğüm seçimi SNR, RSSI, atlama sayısı gibi belirli parametrelere bakılarak karar verilmektedir (Cicioğlu ve Çalhan, 2019b; Luo vd., 2019). Bu parametrelerin değerlendirilmesi için koordinatör düğümlerin birbirlerine ya gerektiğinde ya da belirli zaman aralıklarında ilgili parametreleri göndermeleri gerekmektedir (Cicioğlu ve Çalhan 2019c). KVAA'lar Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA)'ın bir çeşididir. Literatürde birçok KAA yönlendirme algoritması mevcuttur. KAA için tasarlanan yönlendirme algoritmalarının doğrudan KVAA'lara uygulanamamasının birçok nedeni vardır. Özellikle KVAA yapısının değişken ve heterojen olması, veri oranı olarak KAA'daki 250 kbps'dan çok daha fazlasına ihtiyaç olması, öncelik sınıflarının olması ve hayati verilerin taşınmasından dolayı veri kaybının ve gecikmenin en az olması gibi çeşitli nedenler sıralanabilir (Qu vd., 2019).

Literatürde KVAA-içi ve KVAA-arası yönlendirme şeklinde bir sınıflandırma yapılmamıştır. Aslında KVAA-içi ve KVAA-arası yönlendirme protokolleri geliştirilmiş olup genellikle KVAA-içi yönlendirme amaçlanmıştır. Bu protokoller altı ana başlık halinde; servis kalitesini dikkate alan yönlendirme, küme tabanlı yönlendirme, sıcaklık tabanlı yönlendirme, duruş tabanlı yönlendirme, atlama sayısını dikkate alan yönlendirme ve katmanlar arası yönlendirme olarak sıralanabilmektedir (Qu vd., 2019; Yessad vd., 2018).

KVAA'lardaki hayati öneme sahip farklı veri türleri beraberinde servis kalite gereksinimlerinde de farklılıklara sebep olmaktadır. Servis kalitesini dikkate alan yönlendirme, KVAA uygulamasına bağlı olarak uçtan uca gecikme, enerji tüketimi, güvenilirlik gibi farklı servis kalitesi gereksinimlerine ihtiyaç duymaktadır. Küme yönlendirme protokolü ağdaki düğümleri düğüm kümelerine bölmektedir. Her küme birkaç küme düğümü ve bir küme

başından oluşmaktadır. Küme başı algoritma tarafından seçilir ve doğrudan iletişim yükünü azaltmak için kümedeki verileri bir araya getirmekten ve hedefe iletmekten sorumludur. Sıcaklık tabanlı yönlendirmede, girişimleri en aza indirmek ve biyomedikal algılayıcı düğümlerinin implantasyon sürecinden kaynaklanabilecek doku ısınmasını önlemek için, tasarımcılar insan dokularını aşırı ısınmadan koruyan çözümler geliştirilmiştir. Duruş tabanlı yönlendirme, hızlı ve kararlı bir yol oluşturmak için çeşitli dinamik duruşlarda insan vücudunun ağ topolojisini analiz etmek için kullanılmaktadır.

IEEE 802.15.6 standardına göre, KVAA'larda bir atlama veya iki atlama iletişiminde izin verilmektedir. Çalışmamızda KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 standardı Riverbed Modeller benzetim yazılımında modellenmiştir. Ayrıca çalışmamızda KVAA-arası haberleşmede yönlendirme işlemi için yeni bir sıra numarasına veya en düşük atlama sayısına bağlı olarak rota seçen AODV yönlendirme algoritması tercih edilmiştir. Benzetim modelinde her bir koordinatör düğüm kendisine özgü bir yönlendirme tablosuna sahiptir. Bu tablo, AODV yönlendirme algoritması tarafından belirlenen en uygun yolu, bu yoldaki bir sonraki ve bir önceki koordinatör düğüm adres bilgilerini içerir. Bu tablolar yardımıyla yönlendirme gerçekleştirilir. Bir sonraki bölümde AODV yönlendirme algoritması ile Riverbed Modeller yazılımında hazırlanmış KVAA-arası haberleşme ağ benzetimi anlatılmaktadır.

Literatürde çalışmamızla alakalı birkaç çalışma geçmişte yapılmıştır. (Ben Arbia vd., 2015) çalışmalarında afet durumlarında çeşitli kablosuz ağ teknolojilerinin başarımlarını incelemişlerdir. IEEE 802.15.6 ve AODV yönlendirme protokolünün de içinde bulunduğu çalışmanın WSNet isimli ve en son 2009 yılında güncellenen bir benzetim programında yapıldığı iddia edilmektedir. Çalışmada IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 ve IEEE 802.15.6 standartlarının başarımlarını analizleri yapılmıştır. Protokoller ve benzetim ortamı hakkında detaylı bilgi verilmemekle birlikte sağlık alanındaki veri bilgilerine ve öncelik sınıflarına değinilmemiştir. (He vd., 2015) çalışmalarında, AODV ve DSDV yönlendirme protokolleri KVAA-içi haberleşmesi için incelenmiştir. Çalışmada gecikme, iş çıkarma oranı ve paket kaybı parametrelerine bakılmış ancak KVAA-arası haberleşmede yönlendirmenin nasıl olacağı açıklanmamıştır. Ayrıca IEEE 802.15.6 standardından da söz edilmemiştir. (Abdullah vd., 2019) çalışmalarında uzaktan sağlık görüntüleme işlemi için KVAA'da kümeleme yaklaşımı ile AODV protokolü kullanılmıştır. Başarımların analizi için birçok parametre incelenmiş fakat diğer benzer çalışmalarda olduğu gibi ISO/IEEE 11073 servis kalitesi gereksinimleri dikkate alınmamıştır.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında çalışmamızın farklarını şu şekilde sıralayabiliriz:

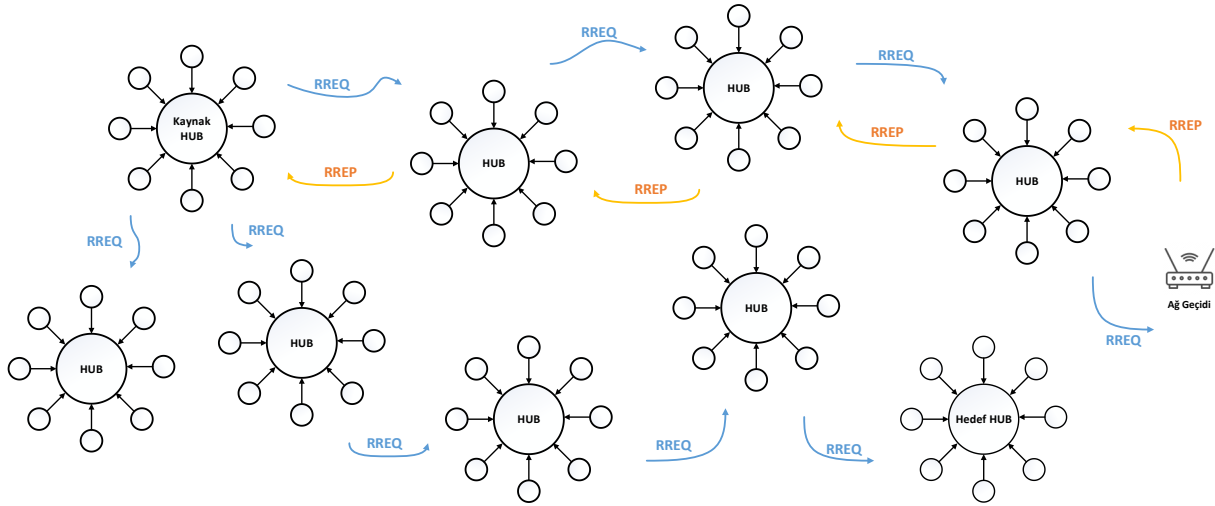
- KVAA-içi haberleşme için IEEE 802.15.6 standardı modellenmiştir.
- KVAA-arası haberleşme için AODV yönlendirme protokolü kullanılmıştır.
- ISO/IEEE 11073 servis kalitesi gereksinimleri göz önünde bulundurulmuştur.
- Tüm modellerde Riverbed Modeller benzetim yazılımında gerçekleştirilmiştir.
- Farklı KVAA sayıları için servis kalitesi parametreleri incelenmiştir.

2. Geliştirilen Sistem Modeli (Developed System Model)

Benzetim programlarından faydalanmak haberleşme ağlarının tasarlanması için vazgeçilmez bir yöntemdir. Riverbed Modeller, yeni nesil haberleşme ağlarının modellenmesini ve başarımlarının gerçekleştirilmesini sağlayan bir ağ benzetim programıdır ("Riverbed Modeller Software" 2020). Kablolu ve kablosuz ağ teknolojilerinin TCP/IP katmanları modellenmektedir. Çalışmamızda KVAA ağı IEEE 802.15.6 standardını destekleyecek şekilde modellenmiş ve KVAA-içi haberleşme için kullanılmıştır. IEEE 802.15.6 standardı hakkında detaylı bilgilere referans kitabından (IEEE Computer Society ve IEEE Standards Association 2012) ulaşılabilir. Her bir KVAA ağı sekiz öncelik sınıfından birine sahip sekiz kablosuz vücut algılayıcı düğümünden ve bir koordinatör düğümünden (literatürde HUB şeklinde de isimlendirilir) oluşmaktadır. Çalışmamızda her algılayıcı düğüm algıladığı verileri bağlı olduğu HUB düğümüne göndermektedir. HUB düğümleri topladığı bu verileri ağ geçidine göndermektedir. Gönderilen veriler böylece uzaktaki doktor ya da sağlık birimleri tarafından görüntülenebilmektedir. Kapalı ortamlarda ya da ağ geçidinin tek olduğu durumlarda her KVAA grubu (1 adet HUB ve HUB'a bağlı çeşitli sayıda algılayıcı düğüm) ağ geçidi kapsamına alanına olamamaktadır. Bu durumda HUB'lar birbiri üzerinden verileri ağ geçidine göndermek durumundadır. Bu amaçla KVAA-arası haberleşme AODV yönlendirme algoritması sayesinde gerçekleştirilmektedir.

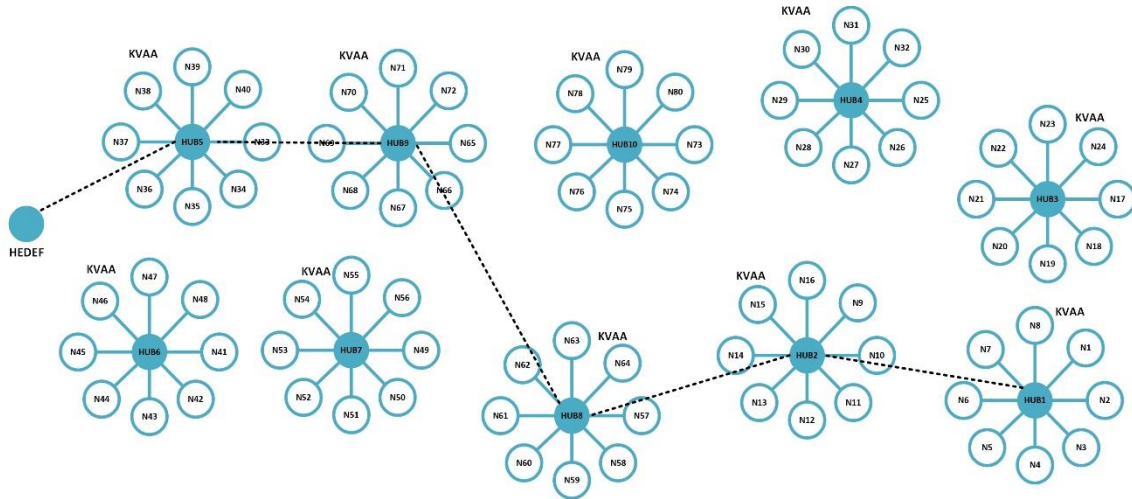
AODV bir ağın oluşabilmesi için düğümler arasında kendi kendine başlayabilen, reaktif, dinamik ve çok atlamalı yönlendirme sağlamaktadır (Perkins ve Royer 1999). AODV döngüsüz (loop-free) ve ağ topolojisinin değişimlerinde Bellman-Ford 'un sonsuza kadar sayma (counting to infinity) probleminden uzaklaştıran bir yaklaşımdır (Loo vd., 2016). Yönlendirme işlemi ayrıca yolun geçersiz olduğu durumları düğümlere bildirebilmektedir.

AODV'nin bir özelliği de, her bir rota için hedef sıra numarası (sequence number) kullanmasıdır. Hedef sıra numarası, eklenecek hedef adres bilgisi ile birlikte talep eden düğümlere gönderilen tüm rota bilgilerinden oluşturulmaktadır. Hedef sıra numaralarını kullanmak döngüye girmemeyi garanti etmekte ve yönlendirme protokolünün tasarlanmasını kolaylaştırmaktadır. Rota isteğinde bulunan bir düğüm; iki rota arasındaki seçim göz önüne alındığında, en büyük sıra numarasına sahip olanı seçmektedir.



Şekil 3. AODV RREQ ve RREP paketleri ile rota bulma (Discovering route with AODV RREQ and RREP packets)

Şekil 3'te kaynak KVAA'da bulunan HUB tarafından başlatılan rota isteği ve sonrasında KVAA-arası paket alışverişini gösterilmektedir. RREQ paketi iletme başlamak isteyen HUB tarafından oluşturularak komşu KVAA HUB'larına gönderilmektedir. Böylece her HUB komşusuna RREQ paketini iletmektedir. Bu algorithmada RREQ paketini alan her bir HUB tekrar aynı RREQ paketini almasını sıra numarasını kullanmaktadır. Ağ boyunca ilerleyen RREQ paketleri hedef noktaya ulaştığında, bir sonraki aşamaya geçilmektedir. RREQ paketini alan hedef buna karşılık RREQ ile elde edilen rota bilgilerini kullanarak karar verilen rota üzerinden ters yönde RREP paketini göndermektedir.



Şekil 4. Riverbed Modeler benzetim ortamı (Riverbed Modeler simulation environment)

Diğer bir anlatışla; bir kaynaktan bilinmeyen bir hedefe iletilecek veriler olduğunda, o hedef için bir RREQ yayınlanmaktadır. Her ara düğümde, bir RREQ paketi alındığında kaynağın temel alındığı bir rota oluşturulmaktadır. Alıcı düğüm daha önce bu RREQ paketini almadıysa, hedef değilse ve hedefe giden geçerli bir rotası yoksa RREQ paketini yeniden yayınlamaktadır. Alıcı düğüm hedefse veya hedefe giden geçerli bir rotaya sahipse RREP paketini oluşturmaktadır. RREP paketi yayıldıkça, her ara düğüm hedefe bir yol oluşturmaktadır. Kaynak düğüm RREP paketini aldığı anda, hedefe giden yolu kaydeder ve veriyi göndermeye başlar. Eğer kaynak düğüm tarafından birden fazla RREP paketi alınmışsa en kısa atlama sayısına sahip rota seçilmektedir. Bu işlemler Şekil 3'te ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Şekil 4'te ise tasarlanan benzetim ortamı verilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Tasarlanan sistemin başarımlarını analizini yapmak için farklı sayılarda KVAA'lerden oluşan 3 senaryo hazırlanmıştır. Her senaryoda uçtan uca gecikme, iş çıkarma oranı ve enerji tüketimi parametreleri incelenmiştir. Tablo 2'de benzetim parametreleri yer almaktadır.

Tablo 2. Benzetim parametreleri (Simulation parameters)

Parametreler	Değerler	
Benzetim süresi	300 sn	
Frekans	2400 - 2483.5 GHz	
Algılayıcı düğüm ve HUB sayısı	10 HUB+ 80 düğüm (1. senaryo) 6 HUB+ 40 düğüm (2. senaryo) 20 HUB+ 16 düğüm (3. senaryo)	
Bant genişliği	1 MHz	
Veri hızı	971.4 kbps	
Paket boyutu	100 bayt	
Paket gelişler-arası süresi	UP7 = 0.25 sn.	UP3 = 3 sn.
	UP6 = 0.5 sn.	UP2 = 4 sn.
	UP5 = 1 sn.	UP1 = 5 sn.
	UP4 = 2 sn.	UP0 = 6 sn.
Enerji Tüketim Parametreleri (MicaZ değerleri)		
Pil	2 AA (3 V)	
Başlangıç enerji değeri	34600 Joule	
Paket iletim durumu	0 dBm = 17.4 mA	
Paket alım durumu	27.7 mA	
Boşta durumu	35 μ A	
Uyku durumu	16 μ A	

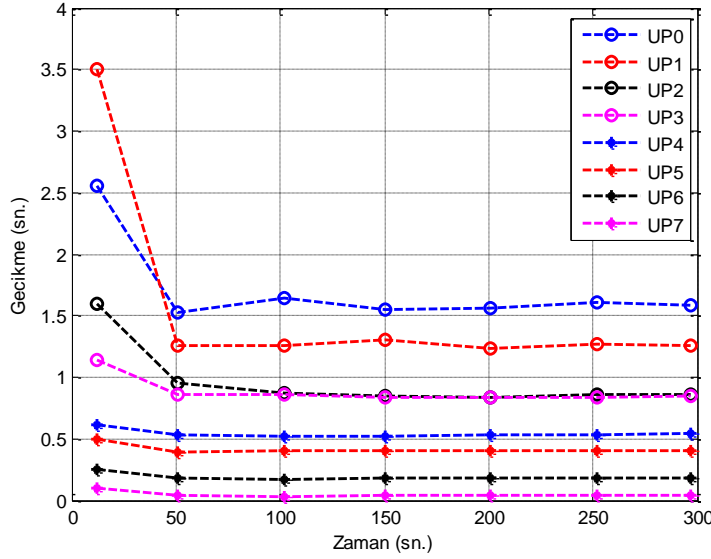
3.1. Senaryo 1 (Scenario 1)

Tasarlanan Senaryo 1'deki sistemin başarımlarını analizi için Tablo 2'de verilen benzetim parametreleri kullanılarak Şekil 4'te gösterilen topoloji oluşturulmuştur. Senaryo 1'de 10 KVAA bulunmakta her KVAA'da 1 HUB ve her bir HUB'a bağlı 8 algılayıcı düğüm bulunmaktadır. Bu senaryonun benzetim sonucunda Şekil 5'te verilen gecikme sonuçları ve Şekil 6'da verilen iş çıkarma oranı sonuçları elde edilmiştir. Senaryolarda her bir düğüm bir öncelik sınıfına sahiptir (Örneğin N1, UP0 öncelik sınıfına sahiptir).

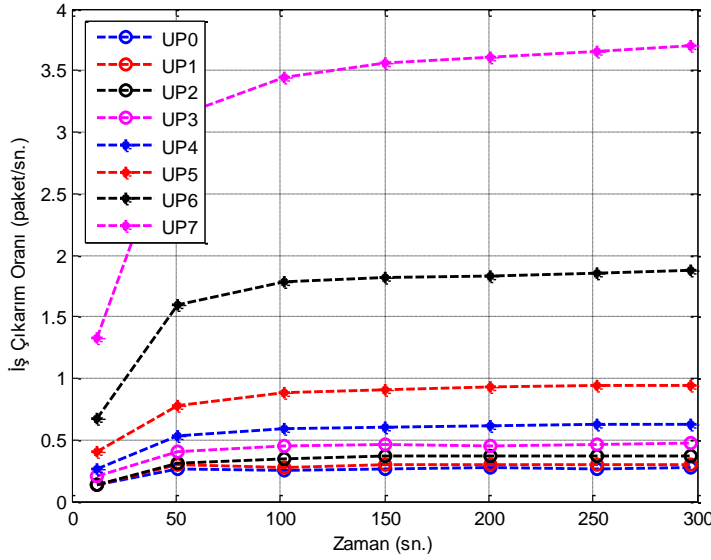
Şekil 5'te farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin gecikme sonuçları verilmiştir. Bu senaryoda hedefin kapsama alanı dışında bulunan HUB1 düğümü kendisine bağlı 8 farklı önceliğe sahip algılayıcı düğümden aldığı paketleri AODV yönlendirme algoritması yardımıyla hedefe iletmektedir. IEEE 802.15.6 standardında öncelikler en yüksek öncelik olan UP7'den UP0'a doğru kategorize edilmektedir. Her bir önceliğe farklı çekişme pencereleri tanımlanmıştır. Şekil 5'te de görüldüğü üzere en yüksek önceliğe sahip UP7 paketleri hedefe daha az gecikmeye giderken, en düşük önceliğe sahip UP0 paketleri hedefe daha geç ulaşmıştır. Bunun temel nedeni algılayıcı düğümler arasındaki çekişme pencere aralıklarındaki farklılıklardır. Bu yaklaşım KVAA'larda hayati önem taşıyan paketlerin hedefe en az gecikmeyle ulaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca kapsama alanı dışında kalan HUB1 ve kendisine bağlı algılayıcı düğümler AODV yönlendirme algoritması yardımıyla HUB2, HUB8, HUB9, HUB5 ara düğümleri üzerinden paketlerini hedefe ulaştırabilmiştir.

Şekil 6'da farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarma oranları verilmiştir. Burada yine farklı öncelikler arasında iş çıkarma oranlarının değişimi gözlemlenmiştir. Senaryomuzun benzetim parametrelerinin verildiği Tablo 2'de farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin paket gelişler arası süreleri verilmiştir. KVAA mimarisinin benzetim senaryolarında gerçekçi sonuçlar alabilmek amacıyla heterojen bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu amaçla en yüksek önceliğe sahip UP7 paketlerinin paket üretim sıklıkları daha yüksek tutulmuştur. EKG yüksek veri miktarı göndermesi gerekirken, kişinin nabız, sıcaklık veya pozisyon gibi durum verilerinin daha düşük veri miktarıyla iletilebildiği bilinmektedir. Bu bağlamda her bir algılayıcı düğüm için üstel dağılım fonksiyonu kullanılarak farklı paket üretim sıklıkları tanımlanmıştır (UP7=0.25 sn., UP6=0.5 sn., UP5=1 sn., UP4=2 sn., UP3=3 sn., UP2=4 sn., UP1=5 sn., UP0=6 sn.). Şekil 6'da görüldüğü üzere paket üretim sıklıklarına göre iş çıkarma oranları

arasında değişimler gözlemlenmiştir. Her bir algılayıcı düğümün paketlerini HUB2, HUB8, HUB9, HUB5 ara düğümleri üzerinden AODV yönlendirme algoritması yardımıyla başarılı bir şekilde hedefe ulaştırdığı görülmektedir.



Şekil 5. Senaryo 1 için HUB1'e bağlı düğümlerin gecikme sonuçları (Delay results for nodes connected to HUB1 for Scenario 1)



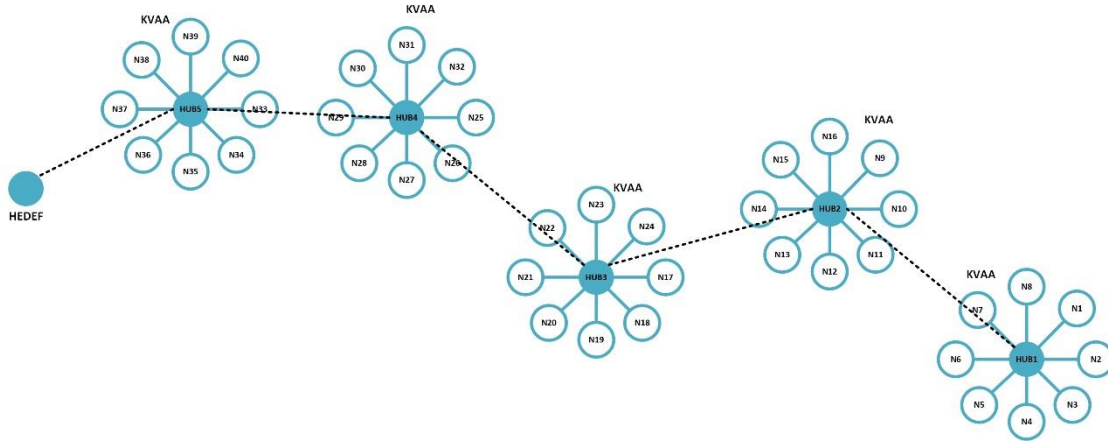
Şekil 6. Senaryo 1 için HUB1'e bağlı düğümlerin iş çıkarma sonuçları (Throughput results of nodes connected to HUB1 for Scenario 1)

3.2. Senaryo 2 (Scenario 2)

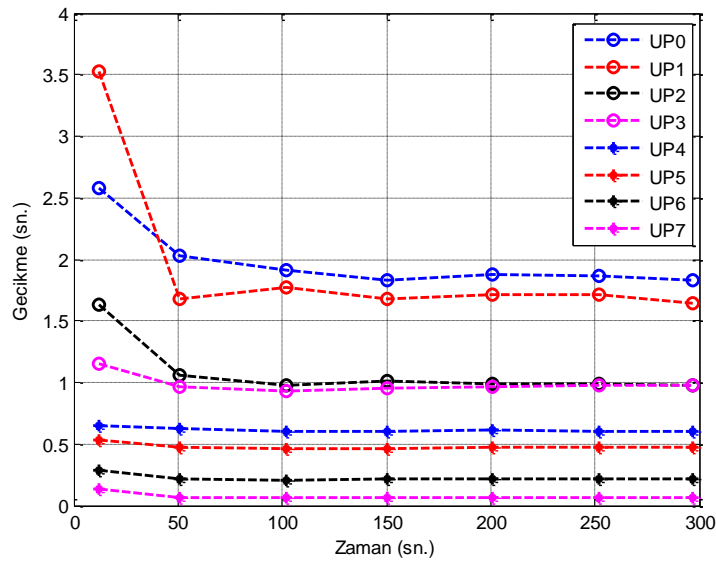
Bu senaryoda daha az yoğun bir ortamda KVAA düğümleri ile AODV yönlendirme algoritmasının performans analizleri incelenmiştir. Şekil 7'de gösterildiği gibi 5 adet KVAA düğüm grubundan oluşan bu senaryoda KVAA sayısı azaltılarak gecikme ve iş çıkarma oranları elde edilmiştir.

Şekil 8'de HUB1 düğümüne bağlı farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin gecikme sonuçları verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre yine öncelikler arasında gecikme farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bunun temel nedeninin çekişme penceresi aralıkları olduğu bilinmektedir. Ancak ilk senaryomuzdaki gecikme sonuçları ile karşılaştırıldığında farklı öncelikler için gecikme değerlerinin bir miktar yükseldiği gözlemlenmiştir. Buradaki temel neden AODV yönlendirme algoritmasının çalışma prensibiyle ilgilidir. Senaryo 1'de olduğu gibi daha yoğun KVAA düğüm grubunun bulunduğu ortamlarda AODV yönlendirme algoritması en uygun rota bulma aşamasında farklı ve en uygun seçeneklere sahip olabilirken, senaryo 2'de olduğu gibi daha az yoğunlukta olan ortamlarda bu seçenekler azalmaktadır. Bu nedenle en uygun rota için farklı seçenekler bulunamamıştır. HUB1 kendisine bağlı algılayıcı düğümlerden aldığı paketleri HUB2, HUB3, HUB4, HUB5 ara düğümleri üzerinden AODV yönlendirme

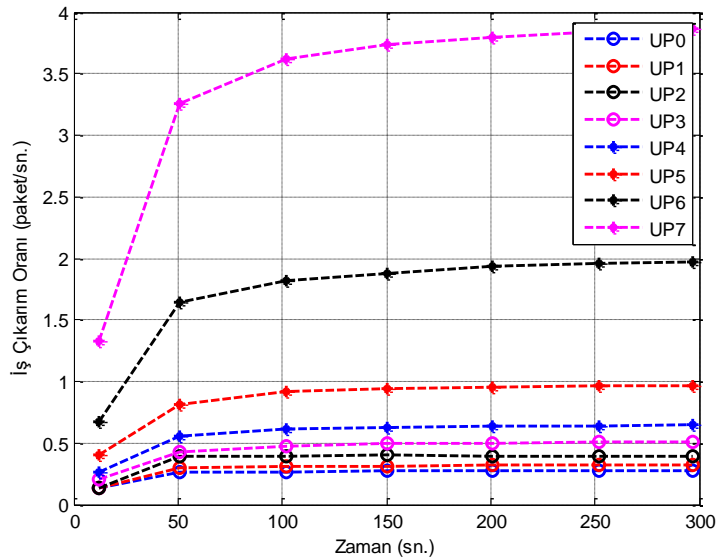
algoritması yardımıyla hedefe ulaştırmaktadır. Senaryoda da görüldüğü gibi elde edilen bu zorunlu rota gecikmenin bir miktar artmasına sebep olmuştur.



Şekil 7. Senaryo 2 için benzetim ortamı (Simulation environment for Scenario 2)



Şekil 8. Senaryo 2 için HUB1'e bağlı düğümlerin gecikme sonuçları (Delay results for nodes connected to HUB1 for Scenario 2)

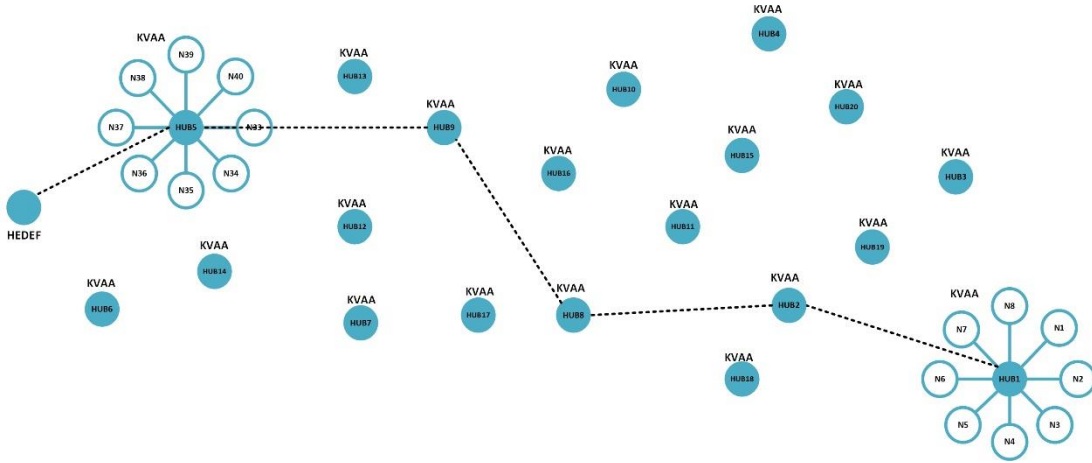


Şekil 9. Senaryo 2 için HUB1'e bağlı düğümlerin iş çıkarma sonuçları (Throughput results of nodes connected to HUB1 for Scenario 2)

KVAA sayısı azaltıldığı için Senaryo 1'e göre iş çıkarma oranı da arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek önceliğe sahip UP7'nin iş çıkarma oranı diğer düğümlere göre yüksektir. Şekil 9'da HUB1 düğümüne bağlı farklı öncelik ve paket üretim sıklıklarına sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarım oranı sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere her bir algılayıcı düğümün sahip olduğu paket gelişler arası süreye göre paketlerini HUB2, HUB3, HUB4, HUB5, HUB6 ara düğümleri üzerinden AODV yönlendirme algoritması yardımıyla başarılı bir şekilde hedefe ulaştırdığı görülmektedir. Daha yoğun KVAA grubunun bulunduğu ilk senaryo ile karşılaştırıldığında farklı paket gelişler arası süreye sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarım oranlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Şekil 8'de gecikmenin ortamdaki KVAA grubunun yoğunluğuna göre ters orantılı olarak değişimi gözlemlenirken, iş çıkarım oranında bu durum doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Buradaki temel sebep ise IEEE 802.15.6 standardında da ifade edildiği üzere belirli bir mesafe içinde KVAA düğüm grubunun artması ile daha fazla farklı öncelikli algılayıcı düğümlerin ortama erişmeye çalışmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle de iş çıkarım oranında öncelik seviyelerine göre düşüşler gerçekleşebilmektedir.

3.3. Senaryo 3 (Scenario 3)

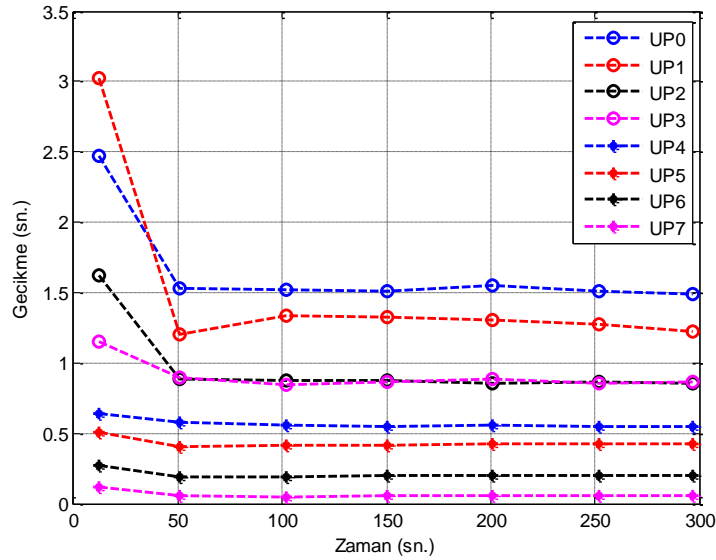
Son olarak üçüncü senaryoda ise Şekil 10'da da gösterildiği üzere ilk iki senaryodan farklı olarak daha fazla HUB düğümü ile kaynak ve hedef HUB düğümlerine bağlı farklı öncelikli sekiz algılayıcı düğüm oluşturulmuştur. Bu sayede AODV yönlendirme algoritmasının farklı öncelikli paketlere sahip HUB1 düğümünün hedefe paketlerini iletebilmesi için farklı rota seçenekleri içinden en az atlamaya sahip rotayı bulması sağlanmıştır.



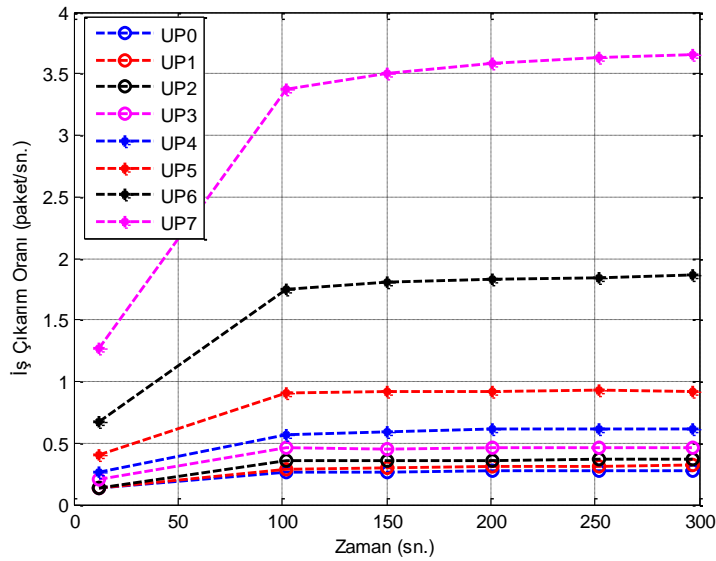
Şekil 10. Senaryo 3 için benzetim ortamı (Simulation environment for Scenario 3)

Şekil 11'de üçüncü senaryo için farklı öncelikli paketlere sahip algılayıcı düğümlerin gecikme sonuçları verilmiştir. Elde edilen bu gecikme sonuçları incelendiğinde diğer iki senaryoya göre bir miktar düşüşün olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi birden fazla olası rota içinden en uygun rota tercihinin AODV yönlendirme algoritması ile yapabilesidir. Bu sayede daha az atlamaya sebep olacak rotaların belirlenmesi, ara düğümlerdeki yoğunlukların azalması beraberinde farklı öncelikli ve farklı paket üretim sıklığına sahip düğümlerin gecikmelerinde de iyileşme sağlamıştır. Bu sonuç hem IEEE 802.15.6 standardında öncelikli düğümlerin paketlerini hedefe daha hızlı göndermesi, hem de AODV yönlendirme algoritmasının daha yoğun düğüm ortamlarında verimli çalışması açısından oldukça önemlidir.

Şekil 12'de ise üçüncü senaryomuzdaki HUB1 kaynak düğümüne bağlı farklı paket gelişler arası süresine ve farklı önceliklere sahip algılayıcı düğümlerin iş çıkarım oranları verilmiştir. Diğer senaryolar ile kıyaslandığında KVAA sayısı artsa bile iş çıkarım oranlarının düşmediği gözlemlenmiştir. Buradaki temel sebep ara düğümlerdeki farklı öncelikli algılayıcı düğümlerin kaldırılması ve AODV yönlendirme algoritmasının en uygun rotayı bulması sayesinde gerçekleşmiştir. IEEE 802.15.6 standardında belirli bir mesafe aralığında KVAA düğüm grubu sayısının artması paket kayıpları ve parazit problemlerine sebep olmaktadır. Bu bağlamda daha yoğun senaryolarda performans sürekli azalacaktır.

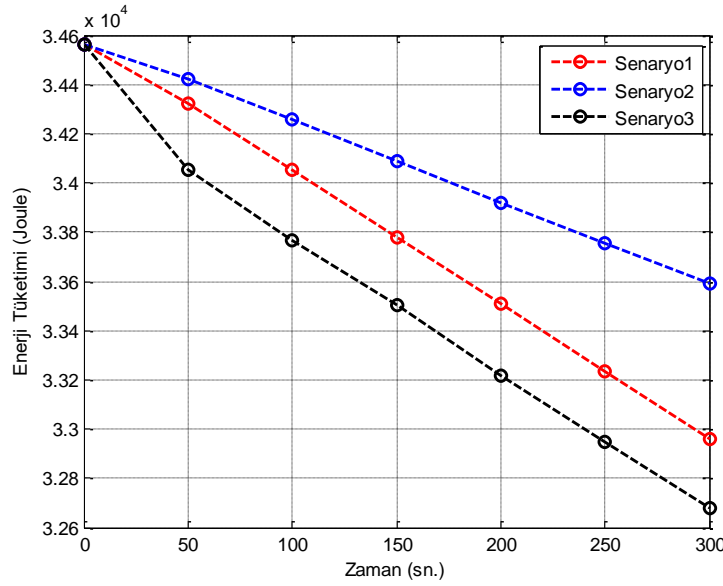


Şekil 11. Senaryo 3 için HUB1'e bağlı düğümlerin gecikme sonuçları (Delay results for nodes connected to HUB1 for Scenario 3)



Şekil 12. Senaryo 3 için HUB1'e bağlı düğümlerin iş çıkarma sonuçları (Throughput results of nodes connected to HUB1 for Scenario 3)

Çalışmamızda ayrıca üç senaryonun enerji tüketim sonuçları da karşılaştırılmıştır. Enerji tüketim sonuçları Tablo 2'de verilen MicaZ (Crossbow Technology 2008) parametreleri temel alınarak hesaplanmıştır. Enerji tüketim değerleri paket alma, paket gönderme, boşa ve uyku durumlarında, her bir duruma karşılık gelen tüketim değerleri üzerinden ele alınmış ve temel formüller Zigbee modelinden referans ("Zigbee Specification" 2015) alınmıştır. Şekil 13'te ortamdaki HUB düğümleri için enerji tüketim sonuçları verilmiştir. HUB düğümlerine bağlı farklı öncelikli algılayıcı düğümlerin enerji tüketim değerleri ele alınmamıştır. Benzetimin başında HUB düğümlerinin başlangıç enerji değeri 34560 joule olarak varsayılmıştır. Bu sebeple 300 sn.'lik benzetim süresi boyunca enerji azalmaktadır. En fazla enerji tüketimi ortamda 20 KVAA'nın bulunduğu Senaryo 3'te olmuştur. En az enerji tüketimi ise en az HUB düğümüne sahip Senaryo 2'de gerçekleşmektedir.



Şekil 13. Her Senaryo için HUB1'in enerji tüketim sonuçları (Energy consumption results of HUB1 for each Scenario)

Tablo 3'te tüm senaryoların gecikme, iş çıkarma ve enerji tüketim değerleri karşılaştırmalı olarak sayısal veriler üzerinden incelenmiştir. Üç senaryo için gecikme ve iş çıkarma sonuçları ortalama olarak hesaplanırken, enerji tüketim değerleri ise toplam olarak verilmiştir. İlk olarak gecikme sonuçları incelendiğinde, Senaryo 3'ün en az gecikmeye sahip olduğu görülürken, Senaryo 2'nin ise en fazla gecikmeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu gecikmeler arasındaki farklılıklar senaryolar arasındaki yoğunluk ile AODV yönlendirme algoritması ile elde edilen rota üzerindeki atlama sayısına göre değişim göstermiştir. Örneğin daha yoğun algılayıcı düğüme sahip olan Senaryo 3'te en düşük gecikme değerlerinin elde edilmesi, AODV yönlendirme algoritmasının alternatif rotalar içinde en uygun yolu bulmasıyla gerçekleşebilmiştir. Bir diğer taraftan daha az algılayıcı düğüm sayısına sahip Senaryo 2'de ise alternatif rota bulunamadığı için gecikmenin artmasına sebep olmuştur.

İş çıkarım oranında ise en fazla değer Senaryo 2'de, en düşük değer ise Senaryo 1'de görülmüştür. Tablo 2'de verildiği üzere algılayıcı düğümlerin paket gelişer arası süresi farklı önceliklere göre değişmektedir. Ayrıca paket üretiminde üstel dağılım fonksiyonu temel alınmıştır. Bu farklılıklar ve ortamdaki algılayıcı düğüm sayısı iş çıkarım oranını da etkilemiştir. Ayrıca her üç senaryoda da paketlerin neredeyse tamamı başarılı bir biçimde hedefe iletilmiştir. Son olarak enerji tüketim değerleri karşılaştırıldığında Senaryo 2'nin en az, Senaryo 3'ün ise en fazla enerji tüketim değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Senaryolarda kullanılan algılayıcı düğüm sayısındaki artış enerji tüketimini de doğal olarak arttırmaktadır. AODV yönlendirme algoritmasının rota keşif aşamasına dahil olan HUB sayısı enerji tüketim sonuçlarını da etkilemektedir. Alternatif rotalar için en uygun yolun bulunması daha az gecikme ve daha yüksek iş çıkarımı sağlarken, enerji tüketimini de arttırabilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile de tutarlık göstermektedir (Dhurandher vd., 2009; Misra ve Dias Thomasious 2010).

Tablo 3. Senaryolardan elde edilen sayısal sonuçlar (Numerical results from scenarios)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Gecikme (sn)	0,06530466	0,07616425	0,04669754
İş Çıkarma (paket/sn)	3,17016184	3,34884309	3,20609622
Enerji Tüketimi (Joule)	1.597,964797	970,759133	1882,264654

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada KVAA-arası haberleşmede AODV yönlendirme algoritması kullanılarak farklı yoğunluk ve önceliklere sahip senaryolar için gecikme, iş çıkarım ve enerji tüketim parametreleri incelenmiştir. KVAA'lar için bir standart haline gelen IEEE 802.15.6 KVAA-ıç haberleşmede, AODV yönlendirme algoritması ise KVAA-arası haberleşmede kullanılmış ve bu protokoller Riverbed Modeler benzetim yazılımında gerçekleştirilmiştir. KVAA'lar için oluşturulan üç senaryoda en yüksek yoğunluğa sahip Senaryo 3'ün en az gecikmeye ve en yüksek enerji tüketimine sahip olduğu, en az yoğunluğa sahip olan Senaryo 2'nin ise en yüksek gecikmeye ve en düşük enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür. AODV yönlendirme algoritmasının yoğun ağ senaryolarında alternatifler içinde en uygun rota bulma potansiyelinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede daha az gecikmeyle paketlerin hedefe ulaşması sağlanmıştır. Gelecek çalışmalar için açık alanda coğrafik tabanlı yönlendirme

algoritmasının Riverbed Modeller yazılımında programlanması ve AODV yönlendirme algoritması ile karşılaştırılması planlanmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdullah, W. A. N. W., Yaakob, N., Ahmad, R. B., Elobaid, M. E., & Yah, S. A. 2019. Impact of clustering in AODV routing protocol for wireless body area network in remote health monitoring system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(2), 689-695
- Ben Arbia, D., Alam, M. M., Attia, R., & Ben Hamida, E. 2015. Behavior of wireless body-to-body networks routing strategies for public protection and disaster relief 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 117-124.
- Bingöl, O., Özkaya, B., & Bayram, M. 2018. Wireless Sensor Network Based Remote Drip Irrigation System. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 554-563.
- Bouazizi, A., Zaibi, G., Samet, M., & Kachouri, A. 2017. Wireless body area network for e-health applications. *International Conference on Smart, Monitored and Controlled Cities (SM2C)*, 64-68.
- Cicioğlu, M., & Çalhan, A. 2019. HUBsFLOW: A novel interface protocol for SDN-enabled WBANs. *Computer Networks*, 160, 105-117.
- Cicioğlu, M., & Çalhan, A. 2019. SDN-based wireless body area network routing algorithm for healthcare architecture. *ETRI Journal*, 41(4), 452-464
- Cicioğlu, M., & Çalhan, A. 2019. Performance analysis of IEEE 802.15.6 for underground disaster cases. *Computer Standards & Interfaces*, 66, 103364.
- Crossbow Technology. 2008. MICAz: Wireless Measurement System. Product Datasheet. http://www.openautomation.net/uploadsproductos/micaz_datasheet.pdf.
- Dhurandher, S. K., Misra, S., Obaidat, M. S., Bansal, V., Singh, P. R., & Punia, V. 2009. EEAODR: An energy-efficient ad hoc on-demand routing protocol for mobile ad hoc networks. *International Journal of Communication Systems*, 22(7), 789-817.
- Gökcan, S. E., & Kahraman, N. 2019. Robotic Surface Material Recognition System Using Sensor Network. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 81-89.
- He, P., Li, X., Yan, L., Yang, S., & Zhang, B. 2015. Performance analysis of wban based on aodv and dsdv routing protocols. *2nd International Symposium on Future Information and Communication Technologies for Ubiquitous HealthCare (Ubi-HealthTech)*, 1-4.
- IEEE Computer Society, & IEEE Standards Association. 2012. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks.
- Jacob, A. K., Kishore, G. M., & Jacob, L. 2017. Lifetime and latency analysis of IEEE 802.15.6 WBAN with interrupted sleep mechanism. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 865-878.
- Jahir, Y., Atiquzzaman, M., Refai, H., Paranjothi, A., & LoPresti, P. G. 2019. Routing protocols and architecture for Disaster Area Network: A survey. *Ad Hoc Networks*, 82(1), 1-14.
- Liu, H., Hu, F., Qu, S., Li, Z., & Li, D. 2019. Multipoint Wireless Information and Power Transfer to Maximize Sum-Throughput in WBAN with Energy Harvesting. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(4), 7069-7078.
- Loo, J., Mauri, J. L., Ortiz, J. H., & Maltz, D. A. 2016. Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends. *Computer*.
- Luo, X., Liu, L., Shu, J., & Al-Kali, M. 2019. Link Quality Estimation Method for Wireless Sensor Networks Based on Stacked Autoencoder. *IEEE Access*, 21572-21583.
- Misra, S., & Dias Thomasinuous, P. 2010. A simple, least-time, and energy-efficient routing protocol with one-level data aggregation for wireless sensor networks. *Journal of Systems and Software*, 852-860.
- Park, J. 2019. Bio-Inspired Approach for Inter-WBAN Coexistence. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(7), 7236-7240.
- Perkins, C. E., & Royer, E. M. 1999. Ad-hoc on-demand distance vector routing. *Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 90-100.
- Qu, Y., Zheng, G., Ma, H., Wang, X., Ji, B., & Wu, H. 2019. A Survey of Routing Protocols in WBAN for Healthcare Applications. *Sensors*, 19(7), 1638.
- Riverbed Modeller Software. (2020). Riverbed Technology. <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeller.html>.
- Tanrıöven, M. H., & Taşdelen, K. 2020. Establishing a Mesh Network with Bluetooth and Investigating the Range Analysis. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 12-19.
- Yessad, N., Omar, M., Tari, A., & Bouabdallah, A. 2018. QoS-based routing in Wireless Body Area Networks: a survey and taxonomy. *Computing*, 245-275.
- Zigbee Specification. 2015. Zigbee Alliance. http://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2011/kjb79_ajm232/pmeter/ZigBee Specification.pdf.