

Hayati Sağlık Verilerinin CoAP Observe Yöntemi ile İletilmesi ve Analizi

Araştırma Makalesi/Research Article

 Gökçe MANAP¹,  Alper Kâmil DEMİR^{2*}

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği, Adana Alparslan Türkeş Üniversitesi, Adana, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği, Adana Alparslan Türkeş Üniversitesi, Adana, Türkiye

21800403004@ogr.atu.edu.tr, akdemir@atu.edu.tr

(Geliş/Received:30.09.2021; Kabul/Accepted:02.02.2022)

DOI: 10.17671/gazibtd.1002839

Özet— Nesnelerin İnterneti (IoT), son zamanların en çok tercih edilen teknolojilerinden biridir. Günümüzde IoT'nin günlük hayatta kullanımı artmakta ve zamanla daha da artması beklenmektedir. IoT cihazları, herhangi bir kullanıcıya ihtiyaç duymadan birbirleriyle otomatik olarak iletişim kurabilir, diğer cihazlardan veri alabilir veya üzerlerindeki sensörler aracılığıyla veri üretebilir. IoT, akıllı şehir sistemlerinde, ev otomasyon sistemlerinde, trafikte ve diğer birçok alanda kullanılabilir. IoT sisteminin kullanıldığı alanlardan biri de sağlık sektörüdür. Sağlık teknolojisinde IoT sistemleri, hastaların sağlık verilerinin otomatik olarak alınmasında, izlenmesinde ve işlenmesinde önemli bir rol oynar. Kalabalık bir ortamda olmak istemeyen veya evde bakıma ihtiyaç duyan yaşlı hastaların uzaktan izlenip tedavi edilmeleri gerekebilir. Bu durumlara çözüm olarak bireylerin sağlık verilerini toplayıp bir sağlık kuruluşuna bu verileri hızlı ve güvenilir şekilde iletmek için bir IoT sistemi tasarlanabilir. IoT sistemleriyle çalışan ağ protokol yığınlarının performansının analiz edilmesi sistemin en iyi protokol kombinasyonunu bulmak adına oldukça faydalı olacaktır. Bu çalışmada, kişilerin nabızı, glikoz seviyesi, kalp grafiği gibi sağlık verilerini iletmek için CoAP (Constrained Application Protocol)-Observe kullanılmış ve bu yöntemin performans analizi yapılmıştır. Yapılan performans analizinde sonuçların değerlendirilmesi için gecikme, enerji verimliliği, güvenilirlik ve işlem hacmi gibi 4 farklı metrik belirlenmiştir. MAC (Media Access Control) protokollerinden CSMA (Carrier Sense Multiple Access), nullMAC ve RDC (Radio Duty Cycle) protokollerinden contikiMAC, nullRDC protokolleri kullanılarak 4 farklı senaryo ve 3 farklı PDR (Packet Delivery Ratio) değeri (100, 95, 90) kullanılarak toplam 12 farklı senaryo değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler— nesnelerin interneti, ortam erişim kontrolü, radyo görev döngüsü, CoAP, CoAP-Observe, uzaktan sağlık hizmetleri

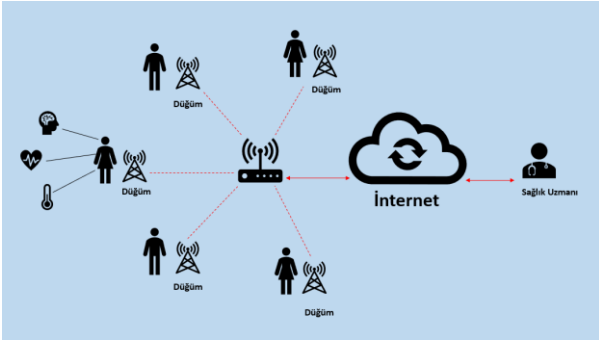
Transmitting and Analysis of Vital Health Data with CoAP Observe Method

Abstract— Internet of Things (IoT) is one of the most preferred technologies of recent times. Today, the use of IoT in daily life is increasing and it is expected to increase even more over time. IoT devices can automatically communicate with each other, receive data from other devices or generate data through sensors on them, without the need for any user. IoT can be used in smart city systems, home automation systems, traffic and many other areas. One of the areas where the IoT system is used is the health sector. In healthcare technology, IoT systems play an important role in the automatic retrieval, monitoring and processing of patients' health data. Elderly patients who do not want to be in a crowded environment or who need home care may need to be monitored and treated remotely. As a solution to these situations, an IoT system can be designed to collect health data of individuals and transmit this data to a health institution quickly and reliably. Analyzing the performance of network protocol stacks working with IoT systems will be very useful to find the best protocol combination for the system. In this study, CoAP-Observe was used to transmit health data such as heart rate, glucose level, heart chart, and the performance analysis of this method was performed. In the performance analysis, 4 different metrics such as latency, energy efficiency, reliability and throughput were determined to evaluate the results. A total of 12 different scenarios were evaluated using 4 different scenarios and 3 different PDR (Packet Delivery Ratio) values (100, 95, 90) using MAC (Media Access Control) protocols CSMA, nullMAC and RDC protocols (Radio Duty Cycle) contikiMAC, nullRDC.

Keywords— Internet of Things, medium access control, radio duty cycle, CoAP, CoAP -observe, remote healthcare

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin gelişmesi, milyonlarca cihazı birbirine bağlar ve bir sonraki iletişim çağına ışık tutmaktadır [1]. IoT'yi kullanarak, fiziksel nesnelere sorunsuz bir şekilde veri oluşturma, alma ve değiş tokuş etme yetkisine sahip olabilir. IoT sistemleri, internet üzerinden, birçok yazılım veya çeşitli sensörler aracılığıyla birbirlerine bağlanabilir, veri üretebilir ve veri alışverişini yapabilir [2]. Bunun için herhangi bir kullanıcıya ihtiyaç duyulmayabilir. Gömülü sistemler, kontrol sistemleri, kablosuz sensör ağları, otomasyonlar ve diğer alanlar nesnelere internetini oluşturmuştur ve büyük bir internet ağı olarak karşımıza çıkmıştır. IoT, hayatlarımızı zenginleştirmiştir ve kolay bir platform sağlamıştır. Birçok bilgi işlem tabanlı uygulamalarda geliştiricilere yardımcı olmuştur. Akıllı evler, akıllı şehirler, çeşitli otomasyon ve akıllı giyilebilir cihazlar gibi birçok uygulama ile entegre bir ortam sağlamıştır. Öyle ki, modern sağlık hizmetlerinin gelecek vadedilen teknolojik, ekonomik ve sosyal beklentilerle tasarlanacağı düşünülmektedir.



Şekil 1. Uzaktan sağlık hizmetleri (Remote healthcare services)

Ulaşım güçlüğü, olumsuz hastane koşulları, yaşlı ve engelli hastaların taşınması gibi nedenlerle evde bakım hizmetleri artmıştır. Aynı zamanda günümüzde Covid-19 salgını nedeniyle hastanelerde tedavi süreci aksamıştır ve kronik rahatsızlığı olan hastalar hastanelerden uzaklaşmıştır. Özellikle yaşlı hastalar için evde bakım hizmeti talebi gün be gün artmaktadır [3]. Evde bakım, birçok insan için kolay ve uygulanabilir bir yöntemdir [4]. Sağlık uzmanları, teşhis ve tedavi için IoT teknolojisiyle ilgilenmekte ve böylece giyilebilir cihazlara olan ilgi de artmaktadır. Sağlık çalışanları bu teknoloji ile hastaları uzaktan takip edebilir. Bu çalışmada, hastaların nabızı, glikoz seviyesi, tansiyonu, elektronik kalp grafiği (EKG) gibi hayati verilerin iletilmesi hedeflenmektedir.

Giyilebilir teknolojiler; giysi, yelek, bileklik, gözlük gibi giyilebilir nesnelere akıllı sensörler entegre edilerek tasarlanan cihazlardır [5]. Öyle ki, sağlık sensörleri de sınırlı bellek ve sınırlı güç ile uzun ömürlü çalışmalıdır. Aynı zamanda bu cihazlar da küçük ve hafif donanıma sahip olmalıdır. Bu cihazlarda çalışan protokoller de bu cihazlardaki bellek boyutuna ve işlemci hızına uygun olmalıdır. Buna göre, bu kısıtlanmış cihazların sağlık verilerini iletmeleri için CoAP Observe metodu [6,7] tercih edilmiştir. Bu çalışmada, CoAP Observe ile birlikte diğer

çeşitli protokol yığınları da kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 2. IoT katmanları (IoT layers)

Observe yöntemi, CoAP / UDP / IPv6 / 6LowPAN / 802.15.4 protokol yığını Şekil 2 üzerinde çalışılmıştır [8]. Bu çalışmada verilen protokol yığını ile bir hasta izleme platformu geliştirilmiştir. Bireylerin yaşamsal belirtilerinin en kısa sürede sağlık kurumlarına/çalışanlarına ulaştırılması hedeflenmektedir. Performans ölçütleri (gecikme, enerji tüketimi, güvenilirlik ve işlem hacmi) CoAP Observe yöntemi ile analiz edilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla literatürde hayati sağlık verilerinin CoAP Observe yöntemi ile iletilmesi üzerine bir çalışma bulunmamaktadır. Araştırmalarımız hayati sağlık verilerinin CoAP Observe yöntemi ile iletilmesinin CoAP'a göre gecikme metriğinin daha iyi olduğunu göstermiştir. Kullanılan ekipman ve yöntemler Bölüm 3'te detaylandırılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

IoT sağlık alanında yapılan çalışmalar yenidir ve güncelliğini korumaktadır. Bu alanda yapılan araştırmalardan ve çalışmalardan bazıları aşağıda bahsedilmiştir. Bu çalışmanın yeniliği, sağlık verilerinin CoAP Observe yöntem ile iletilmesidir. Aynı zamanda MAC ve RDC katman protokollerine ait farklı senaryoların performansa etkilerini sunmaktadır. Literatür araştırmaları göstermiştir ki bu yöntem literatürde bulunmamaktadır., IoT teknolojisinde sağlık hizmetlerini konu alan çalışmalar vardır. [9], sağlık hizmetleri kapsamında giyilebilir cihazlar gibi yeniliklerden nasıl yararlanılacağı ele alınmıştır. Sağlık verilerinin iletimi konusunda gelişmeleri ve sağlık hizmetlerindeki çözümleri sunmuşlardır. E-Sağlık verileri iletilmesinde ise [10] standart CoAP uygulanmıştır. CSMA ve contikiMAC gibi MAC ve RDC protokollerine ait performans etkileri incelenmiştir. Gerçek

zamanlı ağ simülasyonu (Cooja) çeşitli donanımlarla kullanılmıştır. 6LoWPAN IoT ağı üzerinden hayati sağlık verileri iletilmiştir. Bununla birlikte CoAP için grup iletişimi [11]'de sunulmuştur. CoAP spesifikasyonu, bir kaynağı ayrı ayrı işlenmesi yerine birkaç CoAP kaynağını bir grup olarak ele almıştır. CoAP istekleri grup üyelerinin hepsine sunulmuştur. Aynı zamanda CoAP Observe, İnternet kullanıcıları, istemciler bir kez abone olduktan sonra kaynaklarını gözlemleyerek süreklilikten kurtaran bir yöntemdir. Sağlık hizmetlerine katkı olarak [12], kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri teknolojisi üzerine bir iyileştirme çalışmasıdır. Giyilebilir sağlık teknolojisine katkı olarak kalp krizi gibi kritik olayları tespit edebilen bir teknoloji sunulmuştur. Güç verimliliği konusunda cihazlardan veri aktarımını en aza indiren Adaptive Energy-Efficient Data Transfer (AED) şeması geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, AED'nin kararlı veri aktarımı için aktarım yüzdesini %71,35 azalttığını göstermektedir. Toplu veri aktarımı için %30,33 azalttığını göstermiştir. Sağlık hizmetleri konusunda diğer bir çalışma [13] LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) teknolojisinin kullanımı önerilmiştir. LoRaWAN low-power network ile toplanan tıbbi veriler, düşük güçlü ağ bağlantıları olan bir test birimine gönderilmiştir. Bu test birimi, ağ kapsamının olmadığı veya veri aktarımının zor olduğu kırsal alanlarda test edilmiştir. Bu bölgelerde yaşayan kronik hastalara uygulanmıştır. Bu hastalarda glukoz, vücut sıcaklığı ve tansiyon değerleri toplanmıştır ve takip edilmiştir. LoRaWAN'ın güç tüketimini görmek için incelenmiştir. Araştırmalar, güç tüketiminin; GPRS (General Packet Radio Service), 3G, 4G gibi diğer uzun menzilli çözümlerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Performans analizi değerlendirilen [14]'te HL7 (Health Level Seven) FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) standardı ve CoAP protokolünün kullanıldığı IoT teknolojisi ve elektronik sağlık kayıt sisteminin birleşiminden oluşan bir sistem sunulmuştur. CoAP ve MQTT ve iletişim protokolleri, IoT teknolojisi için, veri aktarım paketi boyutu ve Gidiş-Dönüş Süresi (RTT) açısından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlarda, CoAP RTT'sinin MQTT'den daha düşük olduğu gösterilmiştir. [15]'teki başka bir CoAP çalışmada ise, kırsal alandaki anne adayları için uzaktan sağlık takibi uygulaması geliştirilmiştir. Özellikle hamile kadınların tansiyonunu (kan basıncı izleme cihazları ile) uzaktan izleme ve gebelik zehirlenmesi tanısı konma amaçlanmıştır. Bu sayede doktorların, hamilelerde gelişen anormallikleri tespit edebileceği düşünülmüştür. CoAP ve 6LoWPAN teknolojileri kullanılarak, veri iletiminde gecikme ve güç performansı analiz edilmiştir.

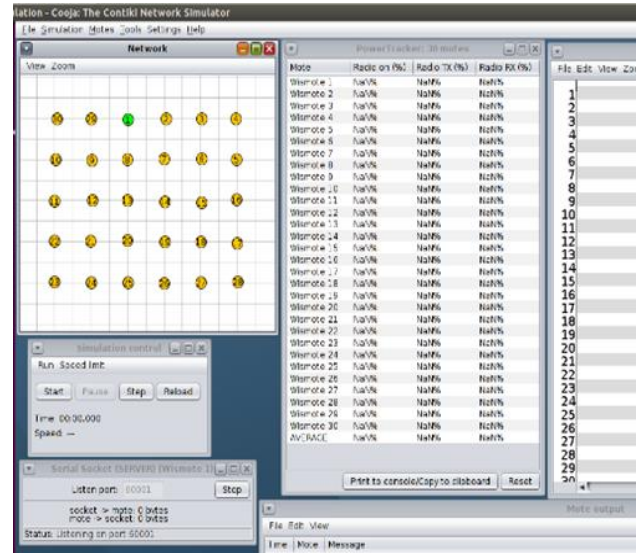
3. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIAL AND METHODS)

Çalışmamızda testlerde sunduğu avantajlar nedeniyle Cooja simülasyon ortamı tercih edilmiştir. Bu ortam, kısıtlı IoT cihazlarını desteklemektedir. Cooja ortamında birçok IoT düğüm cihazları bulunur. Bu cihazlar arasından WisMote cihazı tercih edilmiştir. Aynı zamanda hem donanım hem de yazılım ortamında çalışabilen Contiki

işletim sistemi seçilmiştir. Verilerin IoT ortamından alınması için Californium CoAP uygulaması kullanılmıştır. Simülasyon ortamı gerçek hayatta karşılaşılabilecek prototipte hazırlanmış ve analizler de bu amaca yönelik gerçekleştirilmiştir.

3.1. Cooja Ağ Simülatörü (Cooja Network Simulator)

Fiziksel düğümler üzerinde büyük ağlar kurmak zordur. Simülatörler, büyük ağlarda hızlı prototip oluşturmaya ve test etmeye izin verirken gerçek zamanlı hızlardan daha hızlı çalışabilir [16]. Cooja (Şekil 3), üzerinde Contiki işletim sisteminin çalıştığı ve gerçek donanım platformlarının simülasyonuna izin verildiği bir simülatördür. Cooja ağ simülatörü, Java platformunda çalışır. Bu araç, birçok IoT cihazını ve bunların kablosuz iletişimini simüle edebilir, birden çok düğüm türünü destekler ve bu düğümlerin aktiviteleri izlenebilir. Ayrıca, bir düğümün seri ara yüzü görüntülenebilir. Tüm bu özellikler ve donanımlar sayesinde, Cooja ağ simülatörü çalışmamız için uygun bir ortam sağlar. Bu simülatörde 29 düğüm ve 1 geçit düğümü üzerinde çalışılmıştır (Şekil 8).



Şekil 3. Cooja network simülasyon Ortamı (Cooja simulation environment)

3.2. ContikiOS (ContikiOS)

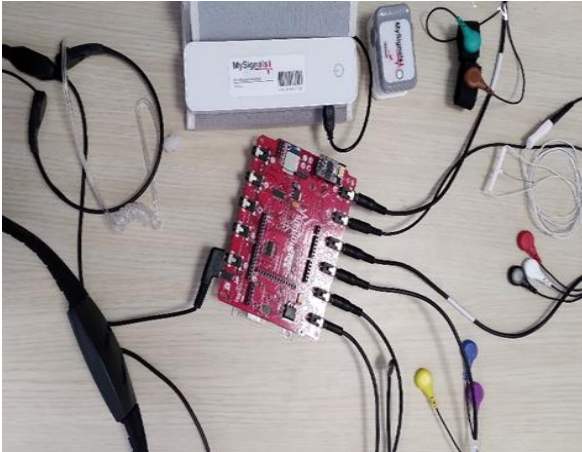
Kısıtlı IoT cihazları için birçok işletim sistemi vardır. Bu sistemlerden ContikiOS, Cooja simülatöründe çalışmaktadır (Şekil 3). ContikiOS sistemi açık kaynak kodlu bir işletim sistemidir. ContikiOS'ta IETF (Internet Engineering Task Force) kapsamında geliştirilen birçok ağ protokol sürücülere bulunur. Konfigürasyon dosyaları, MAC, RDC katman protokollerini kolay bir şekilde değiştirilmesini sağlar. Hem simülasyon ortamında hem de gerçek donanımda çok çeşitli IoT cihazlarıyla uyumludur. Bu işletim sistemi; tam bir IP ağı, bellek ayırma, 6LoWPAN, RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), CoAP protokol desteği ile çalışmamız için çok verimli ve rahat bir ortamdır.

3.3. WisMote (WisMote)

WisMote, IoT uygulamaları için uyarlanmış bir sensör modülüdür (Şekil 3). Kablosuz bağlantı ve 2.4 GHz ISM frekans bandıyla çalışır. WisMote, çok çeşitli yerleşik sensörlere sahiptir. Bu nedenle çevre, sağlık hizmetleri, ev otomasyonu veya çeşitli uygulamalar gibi herhangi bir fiziksel ölçümler için kullanılabilir. WisMote, bir IEEE 802.15.4 protokol yığını içerir. Kısıtlı cihazlar için geliştirilen Contiki OS işletim sistemini destekler ve Zigbee [17] ile 6LoWPAN (IPv6) protokolleri ile uyumludur.

3.4. Sağlık Sensörleri ve Arduino (Health Sensors and Arduino)

Sağlık verilerini aldığımız sağlık sensörü seti MySignals (Şekil 4) olarak seçilmiştir. Bu set, ihtiyacımız olan birçok sensörleri içermektedir. Kullanım kolaylığı nedeniyle oldukça pratik bir donanım setidir. Bu sağlık sensörlerinden okunan verileri işlemek için yardımcı donanıma ihtiyaç vardır. Bu donanım genellikle Arduino'dur (Şekil 5). Sağlık kitinde okunan veriler işlenir ve Arduino'nun seri portu üzerinden gönderilir.



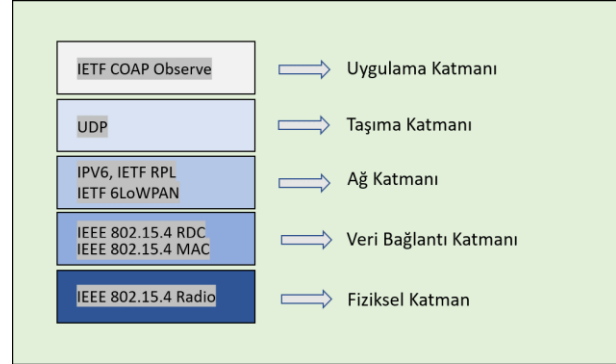
Şekil 4. MySignals sağlık sensör seti (MySignals health sensor kit)



Şekil 5. Arduino Uno mikrokontrolör (Arduino Uno microcontroller)

3.5. Ağ Yığını (Network Stack)

IoT Ağ yığını OSI (Open Systems Interconnection) modeline benzer yapıya sahiptir. Şekil 6'da, sol taraftaki yığın LLN (Low-Power and Lossy Network) İnternet yığını ve sağdaki yığın ise standart geleneksel İnternet yığını modelini göstermektedir [18]. Ağ yığın katmanları aşağıdaki alt başlıklarda detaylandırılmıştır.



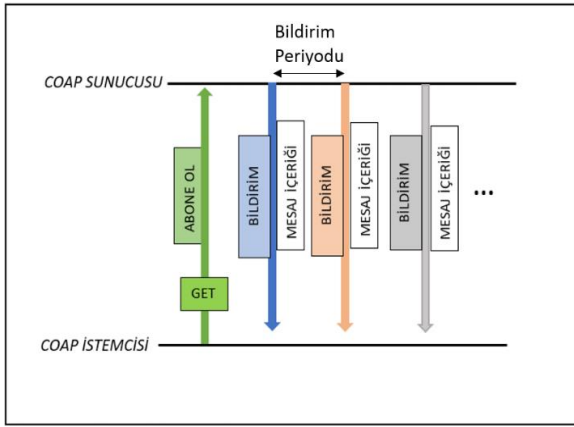
Şekil 6. Sol taraf IoT ağ yığını, sağ taraf OSI modeli (Left side IoT network stack, right side OSI model)

3.6. RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks)

RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), düşük güç ve kayıplı ağlarda kullanılan yönlendirme protokolüdür. RPL, kablosuz düğümlerde minimum yapılandırmayı sağlar, dinamik olarak oluşturulmuş ağ topolojisi üzerinden bilgi yayan bir mekanizmadır [18]. Nesnelerin İnterneti uygulamaları için varsayılan yönlendirme protokolü olarak kullanılmaktadır [19]. RPL mekanizması şu şekilde çalışır: DODAG (Destination Oriented Directed Acycle Graph), Bilgi Nesnesi (DIO) olarak adlandırılan kontrol paketlerini ağa yayan ve bir tane kök düğümden oluşan ağaç topolojisidir. Kök düğüm, DIO (DODAG Bilgi Nesnesi) mesajlarını yayınlar ve böylece ağ topolojinin oluşumunu başlatır. DIO mesajını alan düğümler (alt düğümler), bir amaç fonksiyonu kullanarak sıralama bilgilerini hesaplar. DIO mesajları, Trickle adlı bir algoritma kullanılarak değişken periyotlarda gönderilir. Ağ kararlı olduğunda, Trickle algoritması DIO yayın süresini maksimum değere çeker. Ağ yapılandırması başladığında veya ağ topolojisinde bir değişiklik olduğunda DIO yayın süresi minimum değerine döner. Böylece ağda değişiklik olmadığı sürece kontrol trafiği azalır. Bu özellik ile RPL, düşük güçlü ve kayıplı ağlar için ideal bir yönlendirme protokolüdür [19].

3.7. COAP Observe (COAP Observe)

CoAP Observe yönteminde, istemciler ve bir kaynak arasında bir gözlem yapılır ve kaynak durumu istemciye rapor edilir. Bu, GET isteğine bildirilen yanittir. Bu durumda tekrar GET istekleri göndermeye gerek yoktur. Bu tür bir bildirim yanıtı, istekte belirtilen anahtar (token) yansıtılmalı ve bildirim süresi de belirtilmelidir. Yani bildirim ne kadar süreyle yenileneceği belirtilmiştir (Şekil 7). Bu çalışmada bildirim süresi 1000 milisaniye (1 saniye) olarak alınmıştır.



Şekil 7. CoAP Observe
(CoAP Observe)

4. PERFORMANS METRİKLERİ (PERFORMANCE METRICS)

IoT ağında, hayati verileri iletmek için dört farklı metrik seçilmiştir. Bu dört metrik, uzaktan sağlık izleme için sıklıkla kullanılan metriklerdir [12, 15, 20-23]. Bu metriklerin tanımı aşağıda detaylandırılmıştır.

4.1. Gecikme (Latency)

Hasta sağlık verilerini iletmek için önemli ölçütlerden biri gecikmedir[15]. Gecikmeler sağ kalımı olumsuz etkiler [24]. Bu metrik, paketlerin iletimindeki maksimum gecikmeyi temsil eder ve iki başarılı paket arasındaki sürenin hesaplanması ile bulunur. Özellikle kritik hastaların bulunduğu senaryolarda ağ gecikmesi hayati önem taşır. Örneğin kalp hastalığı olan bir kişide EKG sinyali en az gecikmeyle alınmalıdır [24]. Belirtilen gecikmeye göre farklı hasta grupları için farklı senaryolar gerçekleştirilir. Değerlendirmeler Bölüm 5'te verilmiştir.

4.2. Enerji Verimliliği (Energy Efficiency)

Pil ömrü ve enerji verimliliği de sağlık verilerinin iletiminde önemli kriterlerdir [15, 25, 26]. Sağlık verileri hayati önem taşıdığından, pil yetersizliği durumunda iletim duracaktır. Pil her seferinde değiştirilemeyeceği için enerjinin verimli kullanılması gerekir. Enerji tüketimini hesaplayarak bir düğümün ne kadar süre kullanılabileceği bilgisine ulaşabiliriz.

4.3. Güvenilirlik (Reliability)

Paket iletiminde başarı oranı güvenilirlik olarak tanımlanır [27]. Veri iletiminde, başarılı paket sayısı ile artırılmış güvenilirlik hedeflenmiştir. Sağlık verileri doğru ve eksiksiz iletilmelidir. Eksik veriler hasta takibinde önemli bir soruna neden olabilir [22]. Paketler, özellikle kritik hastalar için kayıpsız iletilmelidir. Sonuçlar bölümünde, başarılı paketlerin sayısı ve istemcilere göre performans analizleri tablolarda gösterilmiştir.

4.4. İşlem Hacmi (Throughput)

Bu metrik, ağ üzerinden 1 dakikada ulaşılan başarılı paketlerin ortalamasını ifade eder. Ne kadar fazla başarılı paket almırsa o kadar çok hastanın sağlık verisine ulaşılmıştır. Dakikada ulaşılan sağlık verisi, sistemin işlem hacmini ifade etmiştir. Bu metrik ile düğüm başına iletim başarısı analiz edilmiştir.

5. SİMÜLASYON ORTAMI (SIMULATION ENVIRONMENTS)

MAC (CSMA, NullMac) ve RDC (ContikiMac, NullRDC) protokol katmanları ile 4 farklı senaryo gerçekleştirildi. Aynı zamanda Cooja simülasyon ortamında PDR değerleri 100, 95, 90 olarak aynı test edildi. 4 farklı senaryo ve 3 farklı PDR değerleri ile toplam 12 senaryonun farklı istemci sayılarına göre performans etkileri incelendi. Tabloda görüldüğü gibi Cooja'da, Simülasyon hız limiti %100 seçildi. (Bunun nedeni düğümler bu değerde gerçek ortam değerine yakındır.).

Tablo 1 Simülasyon değişkenleri
(Simulation variables)

Simülasyon Değişkenleri	Değerler
Simülasyon Hız Limiti	% 100
NETSTACK_CONF_MAC	CSMA, NullMac
NETSTACK_CONF_RDC	ContikiMac, NullRDC
Paket İletim Oranı (PDR)	100, 95, 90
Periyodik İşleyici (Bildirim Periyodu)	1.0*saniye (1000 Milisaniye)
Simülasyon Çalıştırma Sayısı	2

MySignals sağlık kitinin sensörlerinden elde edilen ve sağlık verileri içeren veri paketi oluşturulmuştur. Sağlık sensör verileri genellikle tamsayı veya kayan nokta biçimindeki sayısal veriler şeklindedir.

Tablo 2 Sağlık paketlerinin içeriği
(Content of health data packets)

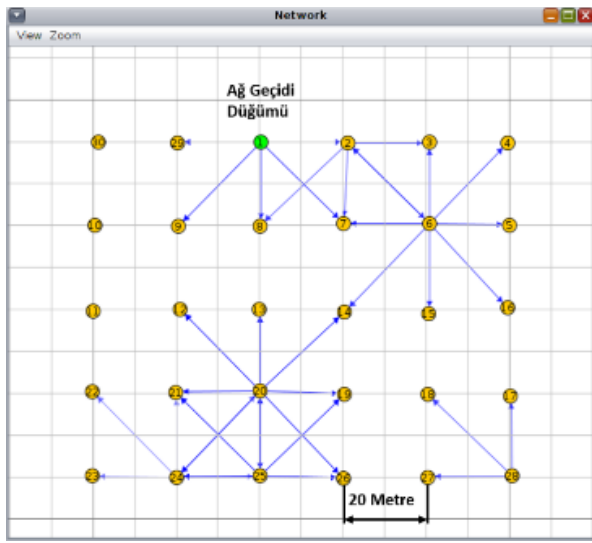
Sensörler	Byte
Vücut Pozisyonu	6
Vücut Sıcaklığı	2
Horlama Sensörü	3
Galvanik Cilt Tepkisi	8
Hava Akımı Sensörü	2
EMG Sensörü	2
EKG Sensörü	2
Kan Oksijen Doygunluğu	4
Kan Basıncı Sensörü	6
Vücut Skalası	2
Şeker Ölçer	6
Sensörün Baytının Toplamı	43
Boş Alan	21
Toplam Veri Paketi	64

Paket içerisinde her sensöre yeterli alan ayrılarak bir bit dizisi oluşturulmuştur. Bütün sensörlerden saniyede bir

(1000 milisaniyede bir) kere örnek alınmıştır. Bütün sağlık sensörlerinden gelen veriler için 344 bit (43 bayt) ayrılmıştır. Geriye kalan 168 bit (21 bayt) boş alan ise hasta bilgileri gibi diğer bilgiler için ayrılmıştır. Toplamda 64 baytlık standart bir bit dizisi oluşturulmuştur. Bu sağlık paketi trafiği simülasyon ortamında temsili olarak bu şekilde iletilmektedir (Bu çalışmada CoAP Observe yönteminin performansı araştırıldığından temsili paket yeterli olmaktadır). Kullanılan sensörler ve veri uzunlukları (byte) Tablo 2'de verilmiştir.

5.1. Ağ Topolojisi (Network Topology)

Cooja ağ simülasyon topolojisinde, geçit düğümü merkezde bulunur. Şekil 8'de gösterildiği gibi, düğümler için 6x5'lik bir matris tasarlanmıştır. Bu topoloji, aralarında yaklaşık 20 metre için uygundur.



Şekil 8. Ağ topolojisi (Network topology)

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu bölümde farklı senaryoların performansı 4. bölümünde verilen metriklere göre değerlendirilmiş ve sonuçlandırılmıştır.

6.1. Gecikme (Latency)

Sağlık verilerinin iletilmesinde gecikme çok önemlidir. Sağlık verileri hayati önem taşıdığından paketlerin belirli bir süre içinde yenilenmesi gerekir. Bu çalışmada farklı hasta kategorileri incelendiğinde, başarılı iki paket arasındaki gecikmenin Tablo 3 ile uyumlu olması gerekmektedir. Tablo 3'te belirtilen kişilerin sağlık bilgisinin yenilenme oranları, sağlık uzmanlarından alınan bilgilerdir [10]. 4 farklı zaman dilimi belirtilmiştir. Bunlar 1 dakika, 15 dakika, 30 dakika ve 1 saat (60 dakika)'dır. Bu zamanlar, kişilerin sağlık bilgilerinin maksimum gecikme süresini dakika cinsinden ifade eder. Örneğin en geç 1 dakikada alınması gereken veriler EMG, EKG ve Kan Oksijen Doygunluğudur.

Tablo 3. Hasta kategorilerine göre sağlık sensörü veri toplama aralığı eşik değerleri (dakika olarak) (Health sensor data collection interval threshold values (in minutes) by patient categories)

Sensörler	Hasta Kategorileri		
	<i>Kritik</i>	<i>Kritik Olmayan</i>	<i>Takip</i>
Vücut Pozisyonu	30	30	15
Vücut Sıcaklığı	15	30	60
Horlama Sensörü	30	60	60
Galvanik Cilt Tepkisi	60	60	60
Hava Akımı sensörü	30	30	60
EMG Sensörü	1	60	60
EKG Sensörü	1	60	60
Kan Oksijen Doygunluğu	1	60	60
Kan Basıncı Sensörü	30	60	60
Vücut Skalası	60	60	60
Şeker Ölçer	60	60	60
Hasta Kimliği	-	-	-
Eşik Değeri 1: 1 Dakika			
Eşik Değeri 2: 15 Dakika			
Eşik Değeri 3: 30 Dakika			
Eşik Değeri 4: 60 Dakika			

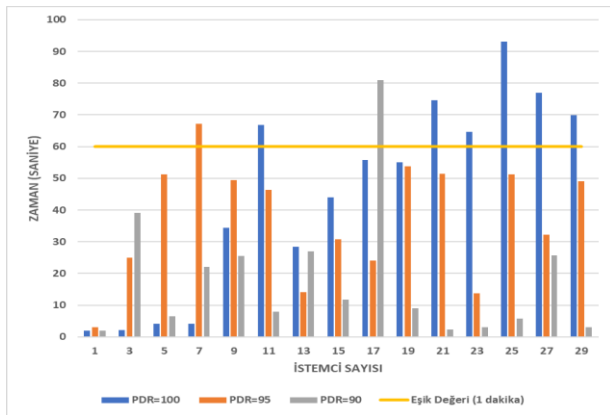
Tablo 4'te gösterildiği gibi sonuçlar, MAC ve RDC katmanlarında farklı senaryolar kullanılarak verilmiştir. PDR oranına göre dört farklı protokol kombinasyonu senaryosunun sonuçları gösterilmiştir. Düğüm sayısını 1'den 29'a artırarak gerçekleştirilen gecikme sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Hastalardan ardi ardına alınan iki başarılı paket arasında geçen maksimum süre gecikme metriğini ifade eder. Tablo incelendiğinde birkaç saniye içerisinde sağlık verilerinin yenilediği görülmüştür. Gecikme oranının en fazla 3 dakika altında olduğu görülmüştür.

Varsayılan CoAP çalışması [10] incelendiğinde, CoAP Observe metodu CoAP'a göre daha iyi gecikme sonucu vermiştir. CoAP'ta 1 saate yakın gecikme görülmüştür. CoAP Observe yönteminde en geç birkaç dakikada veri alınmıştır. Bu da demektir ki Tablo 3'e göre kritik hastalar için belirtilen 1 dakika yenileme oranı limitine uygun sonuçlar bulunmuştur.

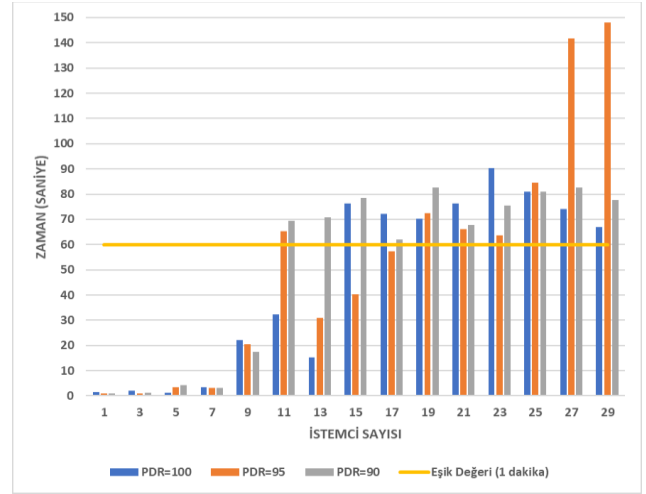
Aşağıda ayrıntılı verilen grafiklerden Şekil 9, nullMAC ve nullRDC kullanılan senaryonun sonuç grafiğini göstermektedir. CSMA ve nullRDC kullanılan senaryonun sonuç grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. NullMAC ve contikiMAC kullanılan senaryonun sonuç grafiği Şekil 11'de gösterilmiştir. CSMA ve contikiMAC protokollerinin sonuç grafiği Şekil 12'de gösterilmiştir. Aşağıda verilen şekillerde sarı çizgi ile belirtilen 1 dakika eşik değeri Tablo 3'e göre kritik hastalar için kullanılan bir sınırdır. Sonuç grafikleri incelendiğinde ortalama 1 dakika altında gecikme olduğu görülmüştür.

Tablo 4. İki başarılı paket arasındaki maksimum gecikme (saniye olarak)
(Maximum delay between two successful packets (in seconds))

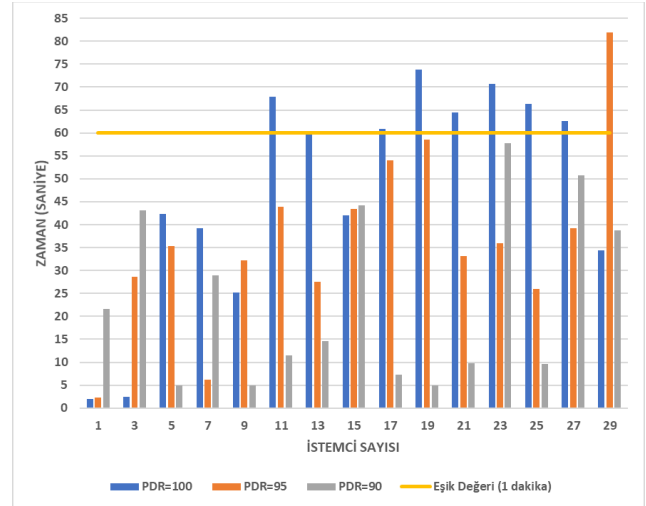
PDR/ İstemciler	nullMAC/ nullRDC			CSMA/ nullRDC			nullMAC/ contikiMAC			CSMA/ contikiMAC		
	100	95	90	100	95	90	100	95	90	100	95	90
1	2,04	3,07	2,01	1,56	1,06	1,04	2,01	2,28	2,16	1,48	11,2	16,8
3	2,06	25	39,1	2,02	1,08	1,2	2,46	28,7	43	52,1	21,6	68,7
5	4,22	51,3	6,4	1,17	3,33	4,16	42,3	35,4	5	50,9	82,3	58,9
7	4,12	67,2	22	3,31	3,25	3,13	39,2	6,25	29	57,2	59,7	71,4
9	34,3	49,5	25,5	22,1	20,4	17,5	25,2	32,2	4,98	66,8	63,5	70,1
11	66,9	46,3	7,97	32,4	65,2	69,3	67,9	43,9	11,5	54,1	60,6	59,2
13	28,5	14,2	27	15,4	31	70,8	59,7	27,5	14,6	65,5	79,8	80,1
15	44,1	30,8	11,8	76,3	40,3	78,4	42	43,4	44,2	63,5	56	63,5
17	55,7	24,1	80,1	72,3	57,4	61,2	60,9	54,1	7,35	33,3	81	77,4
19	55	53,8	8,97	70,2	72,5	82,7	73,8	58,5	4,97	66,1	77,4	71,1
21	74,7	51,5	2,32	76,4	66,1	67,8	64,5	33,1	9,76	70,3	72,2	92,9
23	64,6	13,7	3,05	90,3	63,7	75,6	70,7	35,9	57,8	63,9	67	70,8
25	93,2	51,3	5,79	80,9	84,6	80,9	66,3	25,9	9,68	64,7	44,2	44,2
27	77	32,1	25,7	74,2	141,	82,6	62,6	39,1	50,8	66,3	59,1	42,4
29	69,9	49	3,04	67	148	77,7	34,4	81,8	38,8	59,9	50,3	61



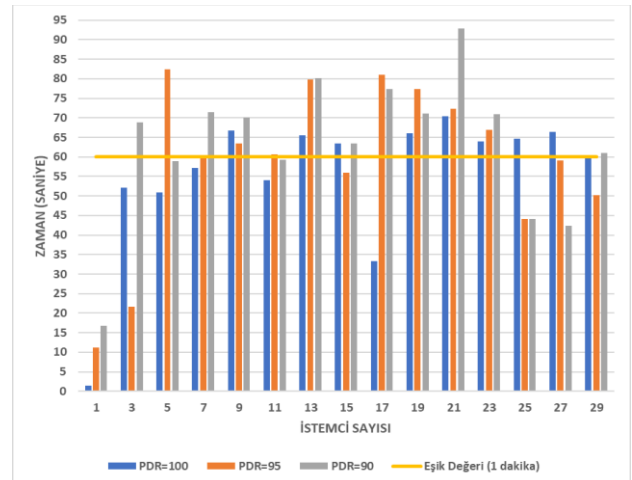
Şekil 9. nullMAC ve nullRDC protokolleri için iki başarılı paket arasındaki maksimum gecikme (Maximum delay between two successful packets for nullMAC and nullRDC protocols)



Şekil 10. CSMA ve nullRDC protokolleri için iki başarılı paket arasındaki maksimum gecikme (Maximum delay between two successful packets for CSMA and nullRDC protocols)



Şekil 11. nullMAC ve contikiMAC protokolleri için iki başarılı paket arasındaki maksimum gecikme (Maximum delay between two successful packets for nullMAC and contikiMAC protocols)



Şekil 12. CSMA ve contikiMAC protokolleri için iki başarılı paket arasındaki maksimum gecikme (Maximum delay between two successful packets for CSMA and contikiMAC protocols)

6.2. Enerji Verimliliği (Energy efficiency)

Simülasyon ortamı gerçek hayata en yakın şekilde hazırlanmıştır. Simülasyon ortamında kullanılan WisMote TI CC2520 radyo entegre devresini kullanır. Tablo 5'te verilen güç tüketimi değerleri, ilgili radyo entegre devresinin veri sayfasından [28] elde edilmiştir. Güç Tüketimi tablosu saatte harcanan enerjiyi verir (mA). 802.15.4 radyonun tek bir pille yaklaşık olarak ne kadar çalışacağı tahmin edilebilir.

Tablo 5. Güç tüketimi (saatte)
(Power consumption (per hour))

Güç Tüketimi mA (Miliamper) cinsinden	
Mod	Radyo IC
	TI CC2520
Aktif RX (Receive Mod)	22,3
Aktif TX (Transmit Mod)	25,8
Uyku Modu	0,03

Pilin, düşük kapasiteli pil olduğu varsayılmıştır. Verilen sonuç yalnızca düğümlerdeki veri alışverişi için geçerlidir. Yardımcı cihazların ve ekipmanların enerji tüketimi göz ardı edilmiştir.

Tablo 6'da verilen değerler aşağıda verilen güç tüketimi hesaplamaları ile elde edilmiştir. RDC protokolü kullanıldığı durumda güç tüketim hesaplaması Formül 1'de, RDC kullanılmadığı durumda ise Formül 2'de gösterilmiştir.

$$(T_x \text{ süresi} \times (\text{active} T_x \text{ (mA)/3600})) + (R_x \text{ süresi} \times (\text{active} R_x \text{ (mA)/3600})) + (\text{toplam süre} - (T_x \text{ süresi} + R_x \text{ süresi})) \times (\text{uyku_modu (mA) /3600}) \quad (1)$$

$$T_x \text{ süresi} \times (\text{active} T_x \text{ (mA)/3600}) + ((R_x \text{ süresi} \times (\text{active} R_x \text{ (mA)/3600})) \quad (2)$$

Tablo 6'da verilen değerlendirmede, düğüm sayısı arttığında, enerji tüketimi de artmıştır. Dahası, RDC protokolü kullanılmadığında enerji kullanımı yüksektir. Çünkü RDC kullanılmadığında, radyo her zaman açık kalmıştır ve ortamı dinlemiştir. NullRDC protokolünün güç tüketimi yüksektir. PDR değerlerindeki değişim de ortalamayı değiştiren bir faktördür. PDR değeri azaldıkça enerji tüketimi arttığı gözlemlenmiştir.

CoAP'ın güç tüketimi metriğinin performans sonuçları incelendiğinde CoAP Observe yönteminde güç tüketimi daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

6.3. Güvenilirlik (Reliability)

Sağlık paketleri hayati değer taşıdığından en az sayıda kaybolması beklenir. Kısıtlı ağ ortamında veriler kaybolabilir. Simülasyon ortamında da kayıp paketler olmuştur. Düğüm sayısı arttıkça, ağ trafiği artmış, dolayısıyla kayıp paketler de artmıştır. Farklı PDR

kriterlerine göre (100, 95, 90) Tablo 7 'de başarılı paketlere göre dört farklı tablo belirtilmiştir. PDR değeri düştükçe ve düğüm sayısı arttıkça kayıp paket sayısı artmıştır. Tablo 7'ye göre başarılı paketler az olabilir, ancak istemci sayısı az olduğunda tam verim elde edilmiştir. Öte yandan tablodan da görülebileceği üzere en yüksek başarı oranı CSMA ve nullRDC senaryosunda elde edilmiştir.

Tablo 6. Ortalama enerji tüketimi (saatlik)
(Average energy consumption (per hour))

GÜÇ TÜKETİMİ (mA saatte)												
PDR/ İstemciler	nullMAC/ nullRDC			CSMA/ nullRDC			nullMAC/ Contiki MAC			CSMA/ Contiki MAC		
	100	95	90	100	95	90	100	95	90	100	95	90
1	1,3	1,9	3,3	0,6	0,6	0,6	0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06
3	3,96	5,94	7,92	1,98	1,98	2,31	0,06	0,07	0,10	0,33	0,31	0,45
5	7,92	9,9	12,5	3,63	3,96	4,95	0,41	0,48	0,6	0,47	0,49	0,58
7	11,8	13,2	21,1	4,95	5,61	6,6	0,68	0,62	0,74	0,82	1,01	1,21
9	13,2	23,7	25,0	6,93	7,92	8,91	0,67	0,79	1,8	1,2	1,05	1,31
11	18,4	23,7	26,4	9,9	12,8	15,5	0,92	1,06	2,2	1,31	2,09	2,26
13	25,7	27,0	29,7	13,2	15,1	17,1	1,21	2,18	4,45	1,30	2,3	2,51
15	27,7	31,6	36,9	19,9	21,1	23,7	2,92	2,24	4,45	2,96	3,52	3,69
17	33,6	36,3	39,6	23,7	25,0	28,3	4,55	2,74	4,87	3,06	4,21	4,8
19	37,6	39,6	47,5	25,0	27,7	29,7	4,89	3,62	5,2	3,26	5,11	5,32
21	39,6	49,5	52,8	29,7	32,3	36,3	4,91	4,45	5,39	4,49	5,74	5,8
23	39,6	49,5	56,1	35,9	39,9	46,2	4,82	4,75	5,39	4,58	5,26	5,4
25	39,6	49,5	56,1	39,6	47,5	49,5	4,82	5,82	5,4	5,12	5,6	5,51
27	39,6	49,5	59,4	47,5	49,5	52,8	4,82	5,20	4,6	5,12	5,6	5,71
29	39,6	49,5	59,4	47,5	49,5	59,4	4,95	5,41	4,8	5,14	5,20	5,8
ORT	25,3	30,7	35,6	20,6	22,7	25,4	2,71	2,63	3,33	2,61	3,17	3,36

Bu çalışmada her bir hastadan 100 adet sağlık bilgisi paketi alınması amaçlanmıştır. Tablo 7'de elde edilen değerler, her hastadan alınan toplam başarılı paket sayısının ortalamasıdır. Örneğin 25 hasta (düğüm) test edildiğinde

25 hastadan alınan toplam sağlık paketlerin ortalaması yüzde değerinin kendisini verir.

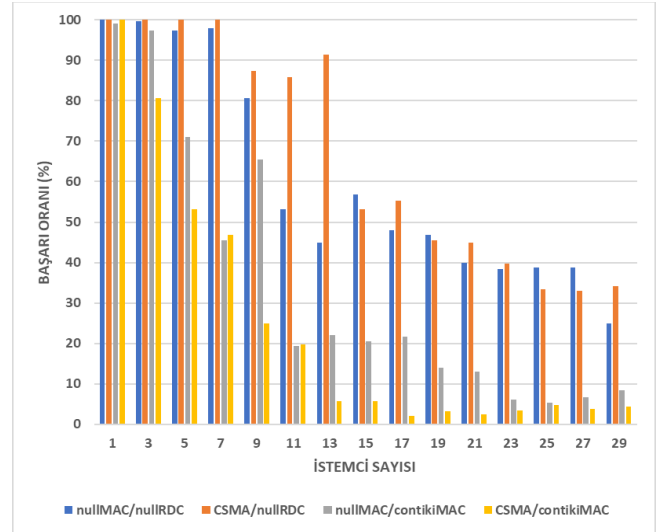
Tablo 7. Ortalama başarılı paketler
(Average successful packets)

PDR/ İstemciler	nullMAC/ nullRDC			CSMA/ nullRDC			nullMAC/ Contiki MAC			CSMA/ Contiki MAC		
	100	95	90	100	95	90	100	95	90	100	95	90
1	100	84	22	100	100	100	99	91	95	100	99	80
3	99,7	65,3	15	100	100	100	97,3	90,7	32,3	80,7	76,3	63,3
5	97,4	55	7,4	100	97,4	99	71	59,4	17,6	53,2	51,6	31,8
7	97,9	26,4	4,71	100	99,7	100	45,5	52,8	10,4	46,8	33,2	11,4
9	80,6	28,4	10,4	87,3	89,2	90,7	65,6	34,6	29,2	24,9	10,9	8,66
11	53,1	12,5	7,23	85,9	88,5	87,4	19,4	19,4	14,4	19,8	8,09	8,09
13	45	7,38	5,96	91,4	80	77,2	22,2	13,8	16,3	5,76	5,37	7,3
15	56,9	3,06	2,73	53,1	60,5	37,7	20,5	13,7	18,1	5,66	6	4,73
17	48,1	8,05	2,11	55,4	48,2	40,2	21,6	8,64	15,1	2,05	7	8,29
19	46,9	9,47	2,91	45,4	51,8	51,3	14,1	10,5	9,47	3,21	4,78	9,42
21	40	5,52	3,12	44,9	49,2	31,4	13,1	8,95	15,5	2,57	4,19	6,04
23	38,3	3,04	2,95	39,8	28,8	37,4	6,04	6,86	14,2	3,4	2,17	3,6
25	38,8	7,08	2,91	33,5	30,8	31	5,44	7,88	6,72	4,84	3,12	2,84
27	38,7	4,33	2,25	33,1	34,1	28,4	6,7	7,62	6,29	3,92	1,66	3,14
29	25	9,55	3,57	34,2	29,7	26,8	8,51	9,86	9,24	4,48	1,5	3,1

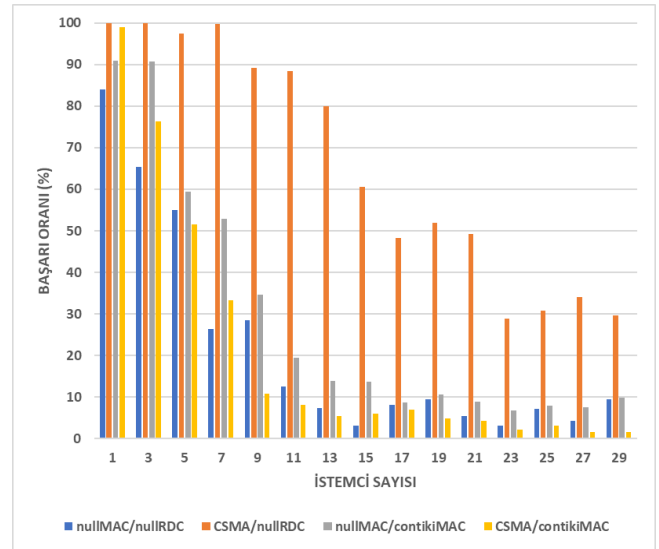
Aşağıda verilen sonuçlara göre PDR 100 (Şekil 13), 95 (Şekil 14) ve 90 (Şekil 15) olduğunda dört senaryo sonucu verilmektedir. Sonuçlar kolaylıkla analiz edilebilir.

6.4. İşlem Hacmi (Throughput)

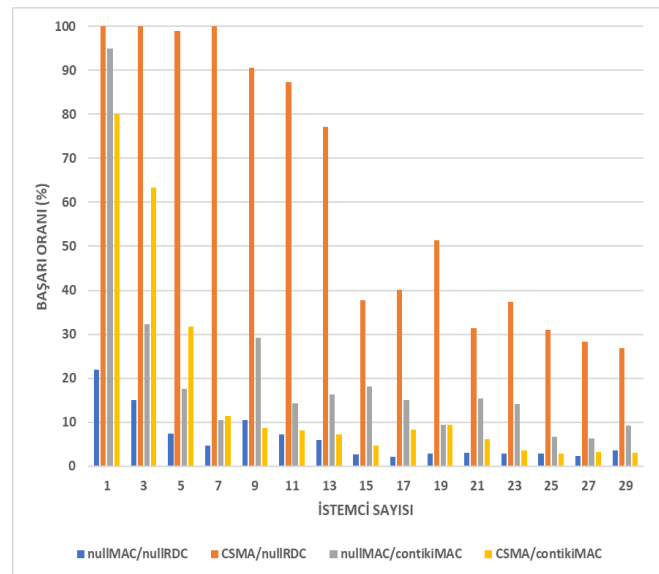
Aşağıda farklı PDR değerlerinin farklı protokol kombinasyon grafikleri bulunmaktadır (Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19). Bu değerler, dakikada ulaşılan başarılı paket sayısını göstermektedir. Sonuçlar analiz edildiğinde düğüm sayısı arttıkça başarılı paketlerin sayısı azalmıştır. Grafikler incelendiğinde CSMA-nullRDC senaryosunun en iyi performansı verdiği göstermiştir. 3 düğüme kadar 1 dakikada 60 başarılı pakete ulaşarak her saniyede bir pakete ulaşılmıştır (Şekil 17).



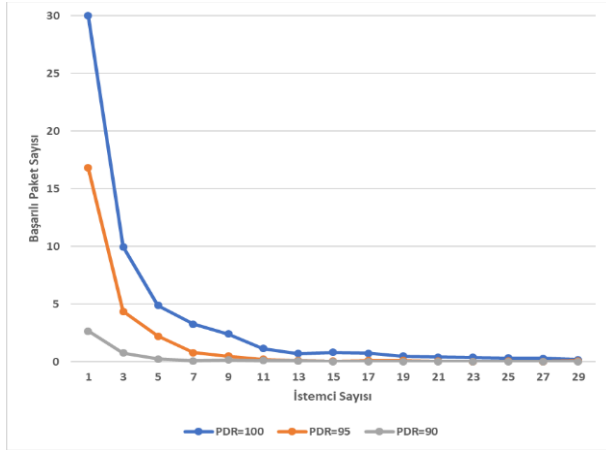
Şekil 13. PDR=100 için başarılı paket oranı
(Successful packets ratio for PDR 100)



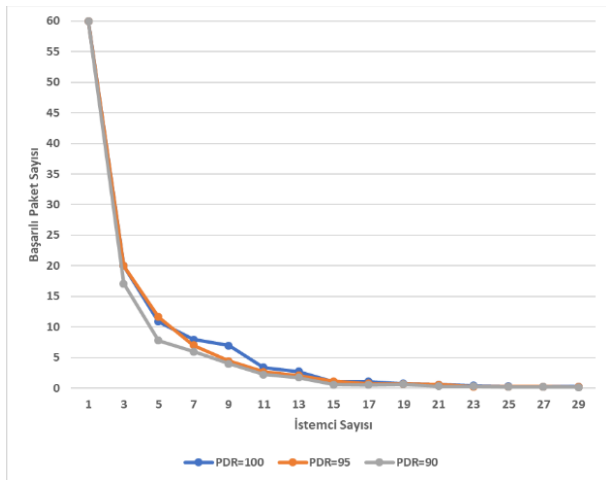
Şekil 14. PDR=95 için başarılı paket oranı
(Successful packets ratio for PDR 95)



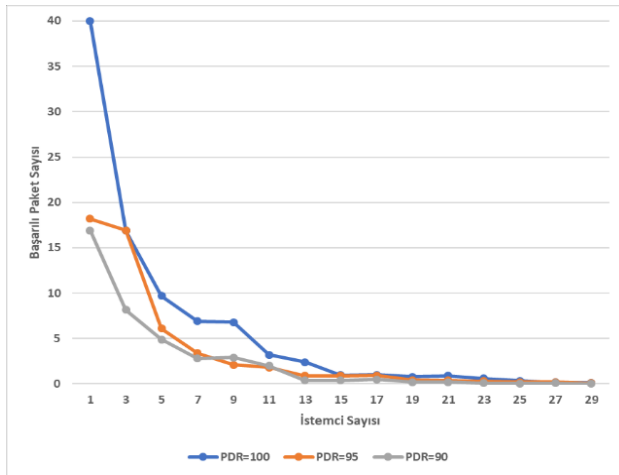
Şekil 15. PDR=90 için başarılı paket oranı
(Successful packets ratio for PDR 90)



Şekil 16. nullMAC/nullRDC protokolleri için dakika başına işlem hacmi (Node Throughput per minute for nullMAC/nullRDC protocols)

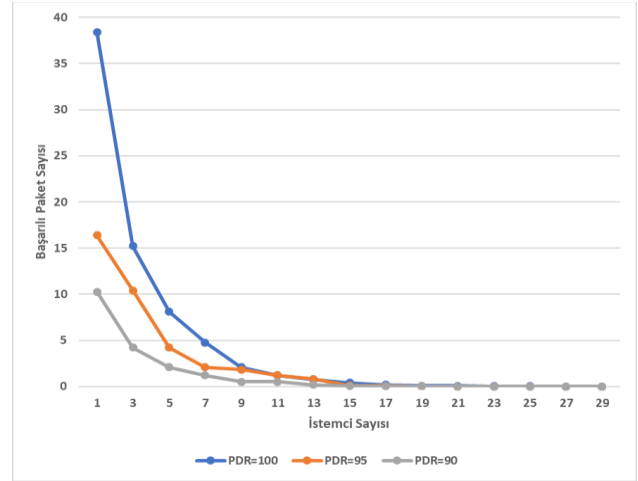


Şekil 17. CSMA/nullRDC protokolleri için dakika başına işlem hacmi (Node Throughput per minute for CSMA/nullRDC protocols)



Şekil 18. nullMAC/contikiMAC protokolleri için dakika başına işlem hacmi (Node Throughput per minute for nullMAC/contikiMAC protocols)

Her dört senaryoda da düğüm sayısı 5 seviyesinde tutulduğunda işlem hacmi daha iyi sonuç vermiştir. Her saniyede bir paket aldığımızı göre dakikada ulaşılan ortalama paket sayısı düğüm sayısı arttıkça azalmıştır.



Şekil 19. CSMA/contikiMAC protokolleri için dakika başına işlem hacmi (Node Throughput per minute for CSMA/contikiMAC protocols)

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu IoT çalışmasında sağlık verilerinin iletimi CoAP Observe yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gerçek ortama en yakın ekipman seçilmiştir. Cooja Network simülöründe, düğümler bir hasta bakım ortamında bulunuyor şeklinde tasarlanmıştır. Veri iletimi 29 farklı istemci ve geçit düğümü üzerinden sağlanmıştır. Hastaların sağlık bilgilerini iletmek için performans metrikleri araştırılmış sıklıkla kullanılan dört metrik incelenmiştir. Bunlar gecikme, enerji verimliliği, güvenilirlik ve işlem hacmidir. Bu metriklerin performans sonuçları detaylı olarak sunulmuştur. Metrikler arasında gecikme ve işlem hacmi başarılı sonuçları vermiştir. Özellikle gecikme metriğinde varsayılan CoAP'a göre daha iyi sonuç vermiştir. Sağlık paketleri daha az gecikmeyle iletilmiştir. MAC katmanında CSMA kullanıldığında ve RDC protokolü kullanılmadığında yani CSMA ve nullRDC protokolü senaryosu, uygulanan farklı senaryolar arasında en başarılı senaryo olarak seçilmiştir. Bu çalışmadan hasta kategorisine göre hangi senaryo (protokol kombinasyonu) ve düğüm sayısının kullanılması gerektiği çıkarılabilir. Tablo ve grafiklerde görüldüğü gibi hasta sayısı en fazla 5 olması durumunda iletim performansı oldukça güçlüdür. Hasta sayısı 5'ten fazla olduğu durumlarda kritik hastalar için bu yöntem uygun değildir.

8. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR (FUTURE RESEARCH)

Yukarıda değerlendirilen performans sonuçlarına göre başarılı paketleri artırmayı hedefliyoruz. Aynı zamanda diğer metrikleri daha yüksek performansla iyileştirmeyi amaçlıyoruz. CoAP Observe yönteminin Tıkanıklık Kontrol Mekanizması incelenebilir. RPL protokolü detaylı olarak incelenebilir. Ayrıca bu çalışmanın performansını gerçek ortamda incelemeyi amaçlıyoruz. Bu hedefte simülasyon düğümleri yerine OpenMote (Şekil 20) düğümleri kullanılabilir. IETF tarafından geliştirilmekte olan 6TiSCH (IPv6 over the TSCH mode of IEEE

802.15.4e) [29] mimarisi [30] kullanılarak bir performans değerlendirme çalışması yapılması amaçlanmaktadır.



Şekil 20. OpenMote cihazları
(OpenMote devices)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] V. Hassija, V. Chamola, V. Saxena, D. Jain, P. Goyal, and B. Sikdar, "A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures," *IEEE Access*, 7, 82721–82743, 2019.
- [2] P.M.GHATE and S. U. DHARMKARE, "Coap Based Healthcare Monitoring System", 9, 13–17, 2017.
- [3] U. Tuğba ÇALIŞKAN, "Yaşlanan Nüfus Gereksinimlerine Yönelik Evde Sağlık Hizmetleri 2020 Yılı Değerlendirmesi: Eğitim Araştırma Hastanesi Örneği 1", *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD)*.
- [4] S. Köstekli, S. Çelik, and E. Karahan, "Cerrahi Hastasının Taburculuk Sonrası Tele Sağlık Yöntemi ile Hemşirelik Bakımının Önemi", 1(1), 30–38, 2020.
- [5] S. Dilek and S. Özdemir, "Sağlık Hizmetleri Sektöründe Kablosuz Algılayıcı Ağlar", *Bilişim Teknol. Derg.*, 7(2), 2013, doi: 10.12973/bid.2016.
- [6] CoRE Working Group, "Observing Resources in CoAP," *IETF*, 2014.
- [7] H. A. Khattak, M. Ruta, E. Eugenio, and D. Sciascio, "CoAP-based healthcare sensor networks: A survey", *Proc. 2014 11th Int. Bhurban Conf. Appl. Sci. Technol. IBCAST2014*, 499–503, 2014, doi: 10.1109/IBCAST.2014.6778196.
- [8] M. A. Tariq, M. Khan, M. T. R. Khan, and D. Kim, "Enhancements and challenges in coap—a survey", *MDPI, Sensors (Switzerland)*, 20(21), 1–29, 2020, doi: 10.3390/s20216391.
- [9] S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain, and K. S. Kwak, "The internet of things for health care: A comprehensive survey", *IEEE Access*, 3, 678–708, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.
- [10] S. BİLGİLİ and A. K. DEMİR, "Determination of the Ideal Protocol Stack for the Transmission of Health Data over 6LoWPAN IoT Networks", *Balk. J. Electr. Comput. Eng.*, 8(2), 154 - 163, 2020, doi: 10.17694/bajece.644104.
- [11] I. Ishaq, J. Hoebeke, I. Moerman, and P. Demeester, "Observing CoAP groups efficiently", *AdHocNetworks*, 37(2), 368–388, 2016, doi: 10.1016/j.adhoc.2015.08.030.
- [12] A. B. Christian, L. Sharma, and S. L. Wu, "AED: Adaptive Energy-Efficient Data Transmission Scheme for Heart Disease Detection", *IEEE International Symposium on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC)*, 6–10, 2017.
- [13] A. Mdhaffar, T. Chaari, K. Larbi, M. Jmaiel, and B. Freisleben, "IoT-based health monitoring via LoRaWAN", *IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies*, 6, 1–13, doi: 10.1109/EUROCON.2017.8011165.
- [14] C. Leksrisawat and T. Samanchuen, "An Integration of Personal Health Device and HL7 FHIR Using CoAP", *2021 4th Int. Conf. Circuits, Syst. Simulation, ICCSS 2021*, 1–5, 2021, doi: 10.1109/ICSSS51193.2021.9464189.
- [15] K. Kabilan, N. Bhalaji, and S. Chithra, "Analysis of 6LOWPAN and CoAP Protocols for Maternal Health Care", *Lect. Notes Electr. Eng.*, 521, 171–180, 2019, doi: 10.1007/978-981-13-1906-8_19.
- [16] A. Sehgal, "Using the Contiki Cooja Simulator", *Comput. Sci. Jacobs Univ. Bremen Campus Ring*, 2013.
- [17] A. Velinov and A. Mileva, "Running and Testing Applications for Contiki OS Using Cooja Simulator", *International Conference on Information Technology and Development of Education – ITRO*, 2016.
- [18] D. Ugrenovic and G. Gardasevic, "CoAP protocol for Web-based monitoring in IoT healthcare applications", *23rd Telecommun. Forum, TELFOR 2015*, 79–82, 2016, doi: 10.1109/TELFOR.2015.7377418.
- [19] S. Görmüş, H. Aydın, and G. Ulutaş, "Security for the internet of things: a survey of existing mechanisms, protocols and open research issues", *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 33(4), 1247–1272, 2018, doi: 10.17341/gazimmfd.416406.
- [20] A. Alkhayyat, A. A. Thabit, F. A. Al-Mayali, and Q. H. Abbasi, "WBSN in IoT health-based application: Toward delay and energy consumption minimization", *J. Sensors*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/2508452.
- [21] N. A. Pantazis, D. D. Vergados, N. I. Miridakis, and D. J. Vergados, "Power Control Schemes in Wireless Sensor Networks for Homecare e-Health Applications", *Proc. 1st ACM Int. Conf. Pervasive Technol. Relat. to Assist. Environ. - PETRA '08*, 85, 1–8, 2008, doi: 10.1145/1389586.
- [22] M. Kathuria and S. Gambhir, "Reliable delay sensitive loss recovery protocol for critical health data transmission system", *2015 1st Int. Conf. Futur. Trends Comput. Anal. Knowl. Manag.*, 333–339, 2015, doi: 10.1109/ABLAZE.2015.7155007.
- [23] C. Jung, "Prioritized Data Transmission Mechanism for IoT", *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, 14(6), 2333–2353, 2020, doi: 10.3837/TIIS.2020.06.002.
- [24] E. Neziroğlu and U. Nagihan Karahan, *Mavi Kod Çağrılarında Neden Sonuç Ve Protokole Uygunluğun Değerlendirilmesi*, Doktora tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, 2019.
- [25] R. Alhussaini, A. K. Idrees, and M. A. Salman, "Data Transmission Protocol for Reducing the Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, 938, 35–49, Oct. 2018, doi: 10.1007/978-3-030-01653-1_3.
- [26] M. Benaddy, B. El Habil, M. El Ouali, O. El Meslouhi, and S. Krit, "A multipath routing algorithm for wireless sensor networks under distance and energy consumption constraints for reliable data transmission", *Proc. - 2017 Int. Conf. Eng. MIS, ICEMIS 2017*, 1–4, 2018, doi: 10.1109/ICEMIS.2017.8273076.
- [27] J. Y. Jung and J. W. Lee, "Reliable Data Transmission in ZigBee Based Health Monitoring System L --otw Sim," *Proc. 10th Int. Conf. Adv. Commun. Technol.*, 795–797, 17–20, 2008.

- [28] G. H. Z. Ieee et al., **2.4 GHz IEEE 802.15.4/RF TRANSCEIVER datasheet**, December, 2007.
- [29] İnternet: <https://datatracker.ietf.org/wg/6tisch/documents/>, 2021.
- [30] İnternet: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc9030/>, 2021