



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları

Faruk AKTAŞ<sup>a,\*</sup>, Celal ÇEKEN<sup>b</sup>, Yunus Emre ERDEMLİ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Bilgisayar Müh. Bölümü, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: faruk.aktas@kocaeli.edu.tr

### ÖZET

Nesnelerin İnterneti, bilgilerini paylaşıp beraberce karar verebilmeleri için fiziksel nesnelere/cihazlara onlara birbirlerini görme, duyma, düşünme ve bir araya gelerek “konuşma” olanağı vermektedir. Nesnelerin İnterneti, geleneksel nesnelerin, gömülü cihazlar, haberleşme protokolleri, algılayıcı ağlar, internet protokolü ve uygulamaları gibi temel teknolojiler kullanılarak akıllı olanlarına dönüşümüdür. Sağlık hizmetleri alanında kullanılan nesnelerin interneti tabanlı sistemler; mobil sağlık ve uzaktan bakım hizmetleri, koruyucu sistemler, teşhis, tedavi ve izleme sistemleri olarak sıralanabilir. Kablosuz vücut alan ağları ve radyo frekanslı tanımlama sistemleri nesnelerin interneti teknolojisinin önemli bileşenleridir. Bu çalışmada, nesnelerin interneti teknolojisinin sağlık alanındaki uygulamalarının yanı sıra bu teknoloji kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen bir sistem tanıtılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Vücut Alan Ağları, Servis Kalitesi, Zigbee, IEEE 802.15.4.

## Internet of Things Technology Applications of Biomedical Field

### ABSTRACT

The Internet of Things enables physical objects/devices to see, hear and think by having them “talk” together to coordinate their decisions by sharing information. The Internet of Things transforms these traditional objects into the smart ones by exploiting its underlying technologies such as embedded devices, communication protocols, sensor networks, internet protocols and applications. The Internet of Things based systems used in the field of healthcare can be listed as mobile health and telecare systems, prevention, diagnosis, treatment and monitoring systems. Wireless Body Area Networks and Radio Frequency Identification systems are important components of the Internet of Things technology. In this study, as well as the Internet of Things applications applied to the field of a system intended to be implemented in scope of Internet of Things is presented.

**Keywords:** Wireless Body Area Networks, Quality of Service, Zigbee, IEEE 802.15.4

## I. GİRİŞ

Dünya sağlık örgütü tarafından yayınlanan yaşlılıkla ilgili raporda sağlık alanındaki küresel çaptaki en büyük yükün, gelişmekte olan ülkelerdeki bulaşıcı olmayan kronik hastalıkların (kalp, kanser, şeker hastalığı gibi yetişkin ve yaşlı insanlar arasında görülen hastalıklar) yükselmesi olarak belirtilmektedir [1]. Bu ülkelerdeki nüfusun yaşlanmasıyla birlikte, kronik hastalıklara, ruhsal sorunlara, yaralanmalara ve ölümcül bulaşıcı hastalıklara yakalanan kişilerin sayısının artması, sağlık hizmetlerinin kullanımını ve maliyetlerini de arttırmıştır. Ayrıca, nüfusun hızla artmasıyla beraber yaşlanması, kişi başına düşen hastane ve yatak sayısında azalmaya yol açmıştır. Bununla beraber hastaların hastane ortamında uzun süre bakılması ciddi ölçüde maddi yüke neden olmaktadır. Bu sebeple, kablosuz teknolojiler kullanılarak sağlık hizmetlerinin hastane ortamı dışında da verilebilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Uzaktan bakım hizmetinin kablosuz teknolojiler kullanarak verilmesi, sağlık hizmeti veren yerlerin iş yükünün azalmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, hastanede gerçekleştirilen uzun süreli tedaviler, hastada hastaneye yatış ile ilgili birçok fiziksel, psikolojik ve sosyal sorunlara neden olabilmektedir. Yukarıda belirtilen sorunların azaltılabilmesi için hastalar üzerinden alınacak fizyolojik verilerin (elektrokardiyografi (EKG), elektroensefalografi (EEG), nabız, kan şekeri vb.) veya hastanın bulunduğu ortama ait fiziksel verilerin (sıcaklık, nem, ışık vb.) toplanması, kişinin günlük yaşamını değişikliğe uğratmadan ve kullanıcı konforu gözetilerek yapılması, gelişmekte olan kablosuz teknolojilerin kullanımı ile mümkün olmaktadır [2]. Kablosuz vücut alan ağları (KVAA) kullanılarak hastalardan toplanan fizyolojik veriler genellikle izleme amaçlı kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde hasta üzerine giydirilebilen veya vücuduna yerleştirilebilen algılayıcılar ile fizyolojik veriler, hastaya acı vermeden ve hasta günlük hayatına devam ederken toplanabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında kablosuz sistemlerin hasta açısından en büyük avantajı hareket sınırlılığın ortadan kaldırılması ve hasta inisiyatifine bırakılmadan ölçümlerin yapılmasıdır.

Gelişen teknoloji ile beraber daha önceden sadece mekanik ve elektrikli parçalardan oluşan ürünler, internet üzerinden çok çeşitli biçimlerde birbirlerine bağlanan, donanım, algılayıcı, elektronik ve yazılımı birbiri ile birleştiren karmaşık cihazlara, hatta bazıları platformlara dönüşmüşlerdir [3]. Nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) teknolojisi ile daha akıllı hale gelen sistemler arasında sağlık alanında kullanılan sistemlerde bulunmaktadır. Nesnelerin interneti altyapısı ile kronik hastalıklar uzaktan takip edilerek ölçümler anında doktor ve hasta yakınları ile paylaşılabilir. Bu şekilde ölçümler düzenli takip edilerek hastalıkların yol açtığı istenmeyen durumlar tam zamanında engellenebilmektedir.

Bu çalışmada IoT teknolojisinin biyomedikal mühendisliği alanındaki uygulamalarına ve bu yönde yapılmış çalışmalarına yer verilmektedir. Çalışmada, biyomedikal alanında kullanılan IoT elemanlarından olan KVAA ve RFID teknolojileri tanıtılmaktadır. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağ (KAA) teknolojilerindeki en önemli haberleşme protokollerinden olan Zigbee haberleşme protokolünün en alt iki katmanının tanımlamalarının yapıldığı IEEE 802.15.4 standardı ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir. En son kısımda ise IoT altyapısı göz önüne alınarak gerçekleştirilmesi hedeflenen bir tasarım senaryosundan bahsedilmektedir.

Literatürde hastalardan gelen fizyolojik değerleri izleme, bu değerleri hastalardan toplayarak onları analiz etme, hastaların ilaç kullanmalarının izlenmesi amacıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Nesnelerin interneti tabanlı olarak biyomedikal alanında yapılan, içerisinde KVAA ve Radyo Frekansı ile Kimlik Tanımlama (Radio Frequency Identification – RFID) teknolojilerini beraberinde bulduran önemli bazı yayınlar incelenmiştir.

Yang ve diğ. [4] IoT tabanlı akıllı sağlık hizmeti sistemi platformu önermiş ve gerçekleştirmişlerdir. Platformda, Hastaların ilaç kutularının bulunduğu ve bu ilaçların kullanılıp kullanılmadığını kontrol eden, diğer servislere ve devrelere entegre edilebilen (haberleşebilen) akıllı bir ilaç kutusu (iMEDBox) geliştirilmiştir. Yine platformda pasif RFID ile haberleşebilen, hastanın ilgili ilacı alıp almadığını kontrol edip kullanılmadığında alarm verebilen akıllı ilaç paketi (İMedPack) ve hastalardan kalp ritmi bilgisini almak amacıyla esnek ve giyilebilen, RFID ile haberleşebilen bir algılayıcı devre tasarlanmıştır. Bu sistem ile hastalara özel olarak hazırlanan kartlar RFID ile akıllı ilaç kutusuna tanıtarak hastalara ait reçete ve ilaç bilgileri sisteme veri tabanı üzerinden yüklenebilmektedir. İlaç kutusu içerisinde bulunan ağırlık algılayıcıları, ilaç ve kutu ağırlıklarını sürekli karşılaştırarak ilgili saatte ilaç alınması için kullanıcıları uyarılmaktadır. Eğer ilaç kullanımı ile ilgili ters bir durum olursa doktorlara ve ilgili kişilere durum ile ilgili bilgi mesajı verilmektedir. Ayrıca tüm bilgilerin yönetimini gerçekleştirmek amacıyla bir yönetim yazılımı gerçekleştirilmiştir.

Luo ve diğ. [5] IoT altyapısı kullanarak, uzakta bulunan hastaların üzerinde bulunan algılayıcılardan gelen detaylı fizyolojik verilerin elde edilerek veri tabanına kaydedilmesi ve bu verilerin elektronik tıbbi kayıtlarının tutulması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Tasarlanan sistemde bilgi platformu desteği ile gelen veriler analiz edildikten sonra tıbbi bir program ile tanı yapılabilmektedir. Tasarlanan sistemin sağlık hizmetleri ile birçok alana uygulanabilir olduğu belirtilmektedir.

Jara ve diğ. [6] ilaçların olumsuz ve yaralayıcı (ölümcül) yan etkilerini önlemek amacıyla, IoT temelinde çalışan olumsuz yan etkileri ve alerjik etkileri tespit eden biliniş-tabanlı bir sistem önermişlerdir. Hastalar sisteme RFID-NFC (Near Field Communication) teknolojisi ile, ilaçlar ise barkod okuma ile tanımlanmaktadır. Hastalara ait bilgiler ile ilaç bilgileri okutulduktan sonra bu bilgiler akıllı eczane bilgi sistemine gönderilmektedir. Olası problemleri önlemek için hastanın alerji profili ve sağlık bilgileri ile eşleştirilmektedir. Olası bir problem durumunda kullanıcılara uyarı verilmektedir. Geliştirilen sistem gerçek zamanlı olarak bir hasta üzerinde denenmiştir. Örnek uygulamadaki hasta ibuprofen (iltihap önleyici) gibi bazı aktif maddelerin olduğu ilaçlara tahammül edememektedir. Bu hasta için aktif madde içeren ilaçlar denetlenmiş ve problem olduğunda sistem tarafından hasta uyarılmıştır. Hasta tanımlamaları ve ilaç okuma için barkod okuyucu olmak üzere android işletim sistemi üzerinde çalışan iki uygulama yapılmıştır.

Rohokale ve diğ. [7] taşrada yaşayan insanların sağlık durumlarının sürekli izlenmesi amacıyla IoT tabanlı işbirlikli bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemin ns-2 (Network Simulator)'de benzetimi yapılmıştır. Benzetimde uçtan uca gecikme, enerji tüketimi gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. Benzetimin sonuçları ışığında %57 oranında enerji tasarrufu olduğu görülmüştür.

Bayılmış ve Younis [8], düğümlerin enerji durumlarına göre bağlantı noktası olabilecek en uygun düğümü seçen yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bağlantı Noktası Seçme Algoritmasının (Gateway Selection Algorithm (GSA)) amacı düğümlerin enerji durumlarına göre bağlantı noktasını uyarlamalı (adaptif) olarak değiştirerek düğümler arasındaki yükü dengelemektir. Algoritmanın modelleme ve benzetimi OPNET Modeler programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada değerlendirilen enerji insan vücudundan elde edilmektedir ve bu elde edilen enerjiyi sadece bir düğüm hasat etmektedir. Geliştirilen algoritma ile kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) için çok önemli bir parametre olan ağ ömrü arttırılmıştır.

Zhang ve Hu [9] Open-Zigbee modelini medikal ve sağlık hizmeti (Kablosuz kişisel alan ağları) uygulamalarına uyumlu hale getirmişlerdir. Benzetim OPNET Modeler programında yapılmıştır. Çalışmada OPNET programındaki açık kaynak kodlu Zigbee modeli modifiye edilmiştir. Senaryoya göre ortamdaki hastalardan fizyolojik veriler toplanmış (örneğin kronik kalp rahatsızlıklarının teşhisi

için EKG verileri) ve bu veriler ya erişim noktası üzerinden ya da direkt olarak izleme merkezine gönderilmiştir. Sistem bu bilgileri analiz etmektedir ve bu bilgiler ışığında sistemde kayıtlı doktor hasta hakkında teşhis koyabilmektedir. Benzetim sonucunda elde edilen sonuçlara göre farklı gereksinimler için sistemin modifiye edilerek uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Chunming ve Xuemei [10] çalışmalarında Zigbee tabanlı hasta izleme sisteminde iki yönlendirme algoritmasını karşılaştırmış ve analiz etmiştir. Çalışma hasta izleme sistemlerinde (kablolu sistemler için) paket kayıp oranlarının %10'un altında, sistemdeki gecikmelerin ise 2 saniyeden az olması kriterleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Sistemin benzetimi OPNET Modeler yazılımında yapılmıştır. Çalışmadaki senaryoda 30 düğüm 2x2 km'lik bir alanda saniyede 30 m/sn hızla buldukları merkez etrafında 500 metrelik yarıçaplı alanda rastgele hareket etmektedir. Bu değerlere göre her iki algoritma için iletim gecikmeleri, alınan ve gönderilen trafikler, atlama parametrelerinin ortalama sayısı gibi parametreler incelenmiştir. Benzetim sonuçlarına göre karşılaştırılan algoritmalarından AODV protokolünün ağdaki değişimlere daha hızlı tepki verdiği görülmüştür. Yüksek başarımlı oranın, daha az gecikme ve daha az yönlendirme yükü değerleri nedeniyle AODV protokolünün Zigbee tabanlı hasta izleme sistemleri için uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Celentano [11], yüksek lisans tezinde hastaların ilaç takibi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ayrıca yüksek hassasiyetli EKG verilerini, veri kaybı oranı çok yüksek olan (%2-%10) kablolu ortamda doğru bir biçimde alabilmek için Kalman filtresi kullanarak bir benzetim çalışması gerçekleştirmiştir. Hastaların ilaç takibi için KAA sistemi kurulmuş, bu sisteme entegre edilen RFID sistemi ile de ilaç kutularının üzerine pasif RFID etiketi takılarak kutulara kimlik kazandırılmıştır. RFID etiketin içeriğinde hasta adı, reçete adı, ilaç miktarı, alınacak doz miktarı, alınacak günlük doz miktarı ve RFID etiket numarası gibi bilgiler bulunmaktadır. RFID etiketin okunması, etikete bilgi yazılması ve gelen bilgilerin veri tabanına kaydedilmesi için uygulama programları yazılmıştır. KAA elemanları olarak Crossbow firmasının Mica2 algılayıcı düğümleri kullanılmıştır. RFID okuyucusu için ise SkyeTek firmasının M1-Mini okuyucusu kullanılmıştır. İlaç kutularından alınan bilgiler ile veri tabanı eşleştirilmektedir. Herhangi bir nedenle hasta ilacı almazsa ya da yanlış bir alım olursa giyilebilir algılayıcı üzerindeki lamba kırmızı şekilde yanarak hastayı uyarılmaktadır. Aynı anda sistemde tanımlı sağlık personeli uyarılarak durum ile ilgili mesaj gönderilmektedir.

R. Kurban [12] tez çalışmasında, kişilerden fizyolojik verilerin (EKG, vücut ısısı, nabız vb.) tasarlanan gömülü sistem ile toplanarak, IEEE 802.15.1 Bluetooth ile ağ geçidi olarak ayarlanmış kişisel sayısal asistana (PDA) gönderilmesi işlemini gerçekleştirmiştir. Ayrıca bilgilerin cihaz üzerinde görüntülenmesi, değerlendirilmesi ve uzun süreli olarak kaydedilmesi, acil durumlarda verilerin merkezi sunucuya GSM/GPRS ve wi-fi teknolojileri ile gönderilmesi ve kişinin uzaktan gerçek zamanlı olarak izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece, kişilerin hastane dışından kritik hayatsal verileri takip edilmekte ve olası sorunlara karşı erken müdahale edilebilmektedir. Diğer bir taraftan GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi) alıcısı yardımı ile elde edilen konum bilgileri sayısal harita üzerinde gösterilmekte ve ilgili birimlere kişinin konumu bildirilmektedir.

İ. Kırbaş [2] doktora tez çalışmasında, KVAA'lardaki ağ ömrü, enerji verimliliği, paket gecikmesi ve sinyal çarpışmaları problemlerini çözmek amacıyla, çok kanallı olarak haberleşmeyi destekleyen, enerji etkin yeni bir ortam erişim kontrol (OEK) katmanı tasarlamıştır. Önerilen OEK protokolünün benzetimi OPNET Modeler benzetim yazılımı kullanarak yapılmıştır ve IEEE 802.15.4 protokolü ile ağ çıkışı, uçtan uca gecikme ve enerji tüketimi bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen protokolün gerçek zamanlı başarımını tespit etmek amacıyla yeni bir kablolu algılayıcı düğüm geliştirilmiş ve toplanacak verilerin takip edilebilmesi için bir bilgisayar yazılımı hazırlanmıştır.

Çeşitli haberleşme tekniklerini kıyaslamak amacıyla üç farklı haberleşme senaryosu belirlenerek düğüm enerji tüketim değerleri geliştirilen algılayıcı düğümler temel alınarak karşılaştırılmıştır. Benzetim ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, önerilen OEK protokolünün benzerlerinden daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Uygulamadan elde edilen sonuçlar da, tasarlanan protokolün başarılı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

H. E. Çetin [13] yüksek lisans tez çalışmasında, KAA'ların biyomedikal bir uygulamasını gerçekleştirmiştir. Geliştirilen sistem Ege Üniversitesi Hastanesi'nde denenmiştir. Kablosuz modüller olarak Crossbow firmasının MicaZ düğümleri kullanılmıştır. Bu modüller nesC diliyle programlanmış, pals oksimetre algılayıcılar bu modüllere bağlanarak hastaların nabız, plestismogram (kalbin her vuruşuyla çevrel damarlara dolan kan akışı) ve kandaki oksijen oranı verileri Zigbee haberleşme standardı kullanılarak kablosuz ağ üzerinden merkezi veri tabanına aktarılmıştır. Sistemin performansı, değişik ağ topolojilerinde, paket kaybı yüzdesi olarak ölçülmüştür.

Ş. Baş [14] yüksek lisans tezinde, güncel hasta izleme teknolojilerinin kullanıldığı bir hasta izleme sistemi önermiştir. Önerilen hasta izleme sistemi 2 parçadan oluşmaktadır. Bunlar, uzaktan hasta izleme sistemi ve hastane içindeki hastaların izlenmesi sistemleridir. Uzaktan hasta izleme sistemi 3 katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır. Bu katmanlar, KVAA katmanı, vücut alan ağı (Body Area Network - BAN) sunucusu katmanı ve medikal sunucu katmanıdır. Bu tez uygulamaya dayanmayıp, tasarım önerisi geliştirmek için tasarlanmıştır.

Atzori ve diğ. [15] nesnelere interneti kavramıyla ilgili bir inceleme çalışması yapmışlardır. Yapılan çalışmada, nesnelere interneti tabanlı uygulamalara geniş yer verilmiş ve biyomedikal uygulamalar içinde hasta izleme uygulamalarının gereksinimlerinden de bahsedilmiştir.

Baker ve diğ. [16] geniş bir ekiple Intel, Ford motor şirketi gibi firmaların desteklerini alarak uzaktan hasta izleme ve hasta doktor etkileşimini artırarak sağlık hizmetlerinin maliyetlerini azaltmaya yönelik çeşitli prototipler geliştirmişlerdir. İlk çalışmada, ani bebek ölüm sendromu sonucu hayatını kaybeden bebeklerin ölüm oranını azaltma amacıyla bebeklerin uyuma pozisyonlarının tespiti için basit bir prototip geliştirilmiştir. Amaç bebeklerin uyurken yüz üstü uyuma pozisyonuna geldiğinde alarm vermesidir. Prototipte SHIMMER kablosuz algılayıcı düğümleri kullanılmıştır. Bu düğümde 3 boyutlu ivmeölçer bulunmaktadır. Giyilebilir bir düğümdür ve elbiseye tutturulabilmektedir. Bebek uyurken, anne ve babalar bebeği sürekli izlemek zorunda kalmadan, uyuma pozisyonu düğüm tarafından tespit edilerek aile uyarılmaktadır. Alarm, çağrı cihazı veya cep telefonuna gönderilebilmektedir. Hassaslık, farklı risk seviyelerine göre kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. İkinci bir çalışmada, erken doğan prematüre bebeklerin buldukları ortam sıcaklığını izlemeye yönelik bir prototip geliştirilmiştir. Prematüre ve zayıf kiloda doğmuş çocuklarda, çocuğun bulunduğu ortamın sıcaklığının iyi ayarlanamaması terlemeye neden olabilmektedir. Bu durum çocuklarda aşırı terlemeye ve aşırı soğumaya neden olabilmektedir. Bu çocuklar için maksimum sıcaklık dalgalanmasının 36-38 derece olması gerektiği belirtilmektedir. Bu çalışmada çocuğun kundağı içine yerleştirilmiş algılayıcı tabakalarla vücut sıcaklığı, alt ıslanması ve kalp atma ritimleri izlenmektedir. Gerçekleştirilen bu sistemle çocuğun bulunduğu küvözün sıcaklığı gelen bilgilere göre otomatik olarak güncellenebilmektedir. Yapılan diğer bir prototip ile hem psikolojik hem de fizyolojik olarak zor koşullarda çalışan itfaiye erlerinin kablosuz olarak kalp ritimlerinin izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede ani kalp rahatsızlıkları ve yaralanmaları azaltmak düşünülmektedir. Yapılan son uygulama ise çevredeki kritik ses bilgilerini (kapı zili, çocuk ağlaması vb.) algılama yeteneğine sahip güçlü bir prototiptir. Bu uygulama ile işitme engelli ve ağır işitme kaybı olan hastaların ortamdaki seslerden haberdar olmaları sağlanmaktadır. Ortamda bulunan mikrofon ile daha önceden tanımlanmış seslerle

ortamdaki sesler karşılaştırır ve sesin nerden geldiği kişiye led veya titreşim vasıtasıyla bildirilir. Ayrıca LCD ekran vasıtasıyla sesin kaynağının ne olduğu kişiye bildirilebilmektedir.

Lee ve diğ. [17] yaşlı hastaların evde bakımı için EKG sinyallerinin izlenmesi ve analizi üzerine yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirilen platform ile gerçek zamanlı olarak sinyaller analiz edilmiş, gelişmiş teşhis ve alarm sistemi kurulmuştur. Sistemde Maxfor firmasının TIP50CM algılayıcı düğümleri kullanılmıştır. Düğümler içerisinde TinyOS işletim sistemi bulunmaktadır. Hastalardan gelen sinyaller bir veri tabanına aktarılıp analiz edilmektedir. Kalp sinyallerindeki PQRS parametrelerindeki QRS parametrelerinin genişliği, R-R parametreleri arasındaki mesafe gibi bilgileri incelenerek kalbin çalışmasındaki anormallikler analiz edilmektedir. Bu anormal durumlar geliştirilen yazılım ile sınıflandırılmaktadır. Ayrıca oluşan anormal kalp ritimleri doktorlara alarm şeklinde iletilmektedir.

Hu ve diğ. [18] çoklu fizyolojik sinyalleri toplayıp izlemek ve bu çoklu sinyallerin toplanmasından kaynaklanan ağ sıkışmalarını önleme amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, yaşlı hastaların ani kalp rahatsızlıkları, felç ve akıl hastalıkları ve yüksek tansiyon gibi rahatsızlıkları tespit etmek amacıyla; kalp için elektrokardiyogram (EKG), beyin için elektroansefalogram (EEG) ve kas hareketleri için elektromiyogram (EMG) sinyallerini elde edip, iletilmesine yönelik bir KAA altyapısı kurulmuştur. Gerçek zamanlı olarak alınan sinyaller (EKG, EMG vb.) geliştirilen yazılım ile analiz edilerek anormal durumlar tespit edilip sınıflandırılmıştır. Hastaların konum bilgileri ve kimlik bilgilerini tespit etmek amacıyla RFID, sisteme entegre edilmiştir.

Yang ve diğ. [19] gerçek zamanlı izleme ve medikal izlemeleri gerçekleştirme amacıyla RFID uyumlu bir algılayıcı düğüm tasarlamışlardır. Tasarımda mikrodenetleyicili UHF bandında çalışan kablosuz algılayıcı prototipi geliştirilmiştir. Çalışmada gümüş mürekkep kullanılarak yazıcı ile yazılmış bir RFID anten geliştirilmiştir. Antenin basıldığı yüzey dielektrik katsayısı ve tanjant kaybı bilinen esnek, tekstil ve organik bir yüzeydir.

Rahim ve diğ. [20] kablosuz biyomedikal algılayıcı ağ uygulamaları için test düzeneği geliştirmişlerdir. Geliştirilen test düzeneğindeki algılayıcı düğümün genel özellikleri arasında düşük güç tüketimi, giyilebilir, esnek ve küçük boyutlu olması bulunmaktadır. Geliştirilen test düzeneğinin performans metrikleri olarak paket alım oranı ve uçtan uca gecikme değerleri incelenmiştir. Sonuçlar, mesafe arttıkça paket alım oranının düştüğünü, atlama sayısı arttıkça gecikmenin de arttığını göstermektedir. 10 metrenin altında yapılan tüm atlamalarda alınan sinyal gücünün tatmin edici olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen yazılım ile farklı mesafelerde alınan EKG sinyallerinin doğruluğu karşılaştırılmıştır.

Harvard Üniversitesinde [21] gerçekleştirilen CodeBlue adlı projede MICA düğümleri kullanılarak KAA' ların tıbbi uygulamalar üzerinde uygulama imkânları araştırılmıştır. Çalışmanın amacı çok sayıda bireye ait SPO<sub>2</sub> (pals oksimetresi) ve EKG sinyallerinin takibi ve kayıt edilmesidir. Hastanelerin acil ünitelerinde ve afet bölgelerinde acil mesaj iletme sistemi olarak kullanılabilir.

Aktaş ve diğ. [22] KVAA' lar kullanılarak insanlardan alınan fizyolojik sinyallerin servis kalitesi desteği ile aktarılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Hastalardan alınan EKG sinyalleri, biyomedikal uygulamalar için önemli servis kalitesi parametrelerinden olan veri iletim oranları ve iletim gecikmeleri parametreleri göz önünde tutularak kablosuz ortamda iletilmektedir. Uygulamanın benzetimi OPNET Modeler programında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hastalardan alınan fizyolojik sinyaller servis kalitesi parametrelerine göre başarılı bir şekilde iletilmektedir.

## II. ÖN ÇALIŞMA

### *A. NESNELERİN İNTERNETİ*

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT), fiziksel nesnelerin bilgi paylaşımına beraberce karar verebilmeleri için onlara birbirlerini görme, duyma, düşünme, bir araya gelerek “konuşma” olanağı vermektedir. IoT, gömülü cihazlar, haberleşme protokolleri, algılayıcı ağlar, internet protokol ve uygulamaları gibi temel teknolojilerin geleneksel olanından akıllı olanına dönüşümüdür [23]. IoT kavramından ilk kez 1999 yılında Kevin Ashton tarafından Procter & Gamble şirketi için hazırlanan bir sunumda bahsedilmiştir. Bu sunumda şirketin tedarik zincirinde RFID teknolojisi uygulamasının firmaya faydaları sıralanmakta ve kullanımı önerilmektedir. Gelişen teknoloji ile milyarlarca insanın bilgisayarlar ya da taşınabilir mobil araçlarla internete bağlanmaları sağlanmaktadır. Bu aşamadan sonra beklenen büyük adım birbirlerine bağlı bilgisayarların, birbirlerine bağlı nesnelere ile bilgi alışverişi yapması olacaktır. Arabalardan kitaplara, elektrikli aletlerden yiyeceklere, buzdolaplarından su ısıtıcılara, akıllı binalardan ayakkabılara kadar akla gelebilecek tüm şeylerin / nesnelerin birbiri ile bağlanmaları yakın gelecekte gerçekleşecek bir gelişme olacaktır [24].

Nesnelerin interneti, insan dokunuşuna, veri girişine ihtiyaç olmaksızın cihazların, makinelerin kendi aralarında veri iletişimi yaptığı, veri topladığı ve oluşturduğu bilgi ile karar verdiği bir ağ yapısı olarak tanımlanabilir. Bir başka tanımda ise, adreslenebilir nesnelerin kendi aralarında oluşturduğu, evrensel yaygın bir ağ ve bu ağdaki nesnelerin belirli bir protokol ile birbirleriyle iletişim içinde olmaları olarak tanımlanmaktadır. Eldeki mevcut bilgilere göre, günümüzde 10 milyarı aşkın cihaz internete bağlıdır. 2020 yılına gelindiğinde bu rakamın 50 milyar cihaz seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir. Bu hesaba göre 2020 yılında her insanın, ortalama yedi tane internete bağlı cihaza sahip olacağı öngörülmektedir. Aynı yıllarda, 20 adet tipik ev cihazının üreteceği bilgi trafiğinin, 2008 yılında üretilen tüm internet trafiğinden daha fazla olacağı tahmin edilmektedir [25].

Nesnelerin interneti teknolojisinin bir diğer adı olan machine-to-machine (M2M) teknolojisi ile SIM kart takılarak akıllı hale gelen makineler tasarrufu artırma, çevreyi koruma, fiziki güvenlik, sağlık güvenliği, sahada kontrol ve verimliliğin artmasına katkı sağlayarak hem kullanan kişilere yada kurumlara hem de ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. 2020 yılında dünyadaki her beş SIM karttan birinin M2M SIM kart olacağı öngörülmektedir. M2M teknolojisi ile örneğin; İzmir’den Malatya’ya sevkiyat yapan bir kamyon iletişim kurabildiği lojistik firmalarına ;” Malatya’ya varmak üzereyim ve boş dönmek istemiyorum. Malatya’dan sevkiyat yapacak firmalara yardımcı olabilirim.” şeklinde mesaj atabilir. Ya da bir elektrik şalteri fabrika müdürüne ;” Kısa sürede tedbir alınmazsa reaktif enerji yüzünden elektrik faturasına yüklü bir ceza gelebilir.” mesajı gönderebilir. Dondurma dolabı, üretim tesisi için alarm bilgisi üretmek ;” Dün gece iki saat elektrikler kesildi ve enerjisiz kaldım. İçerideki dondurmalar eridi ve elektrik gelince tekrar dondular. Dükkan sahibi farkında olmadan bozuk ürün satabilir. Devreye girilmesinde fayda olabilir.” şeklinde mesaj üretebilir [3].

Nesnelerin birbirleri ile internet üzerinden veri alışverişinde bulunması ile örneğin; evdeki buzdolabı, biten yumurta ve margarini, süpermarkete ihtiyaç olarak bildirebilir. Trafikteki tıkanıklığı algılayan araba trafikteki kişinin ailesine veya toplanacağı kişilere varışında gecikme olacağını duyurabilir. Akıllı cihazlar sayesinde, sabah takviminizdeki ilk toplantının saati ve mekanı kontrol edilerek, yol haritaları ve hava durumuna göre (örneğin sis olma durumu) kişinin kurduğu alarm, tüm bu şartlar göz önüne alınarak 15 dakika erkene alınabilmektedir. Bunlara ek olarak; şehirlerde, algılayıcılardan gelen verilerin boş park yerlerini belirleyip sürücülere bildirdiği; akıllı şehirlerde yer alan evlerdeki algılayıcıların içerideki hırsız güvenlik birimlerine haber verdiği; seralarda topraktaki nem miktarını

ölçen algılayıcıların gereken sulama miktarını ayarladığı uygulamalar IoT yapısına örnek gösterilebilir.

IoT teknolojisinin sağlık sektöründeki örneklerinden birkaç tanesi ise sürekli kan basıncını ölçen taşınabilir tıp cihazı kişinin doktoruna tansiyonun yükseldiğini SMS ile bildirebilmesi, evinde düşen yaşının duvarlarda yer alan algılayıcılar tarafından algılanıp bakım merkezlerinin uyarıldığı uygulamalar olarak gösterilebilir. Bu uygulamaların birçoğu hayata geçirilmiş ve yakın gelecekte daha birçok uygulamada hayata geçirilecektir. Yine örnek olarak Hollandalı yeni kurulmuş bir teknoloji şirketi, inekleri algılayıcılarla donatarak, hasta veya hamile olup olmadıklarını anında öğrenebilmektedir. Duisburg'daki Franhofer Mikroelektronik Devreler ve Sistemler Enstitüsü'nde yapılan bir çalışmada, bir ineğin midesine yerleştiren aktif bir aktarıcı sistemle kanın pH değeri ve vücut ısısı gibi gerekli parametreler tanımlandıktan sonra veriler ineğin yakasındaki harici alıcılara aktarılmaktadır. Bu bilgi buradan kablosuz algılayıcı ağ aracılığıyla merkezi bir veri tabanına gönderilmektedir. Mesela ineğin kan pH değeri çok düşükse anında çiftçinin kişisel bilgisayarına bir uyarı mesajı gitmektedir [26]. Şekil 1' de IoT' nin şematik gösterimi ve uygulama alanları görülmektedir [27].



Şekil 1. Nesnelerin interneti uygulama alanları

IoT' nin aşırı hızlı büyümesine karşılık, 6 Haziran 2012 tarihinde, dünya çapında bir standartlar belirleme organizasyonu olan İnternet Derneği, IPv6 denilen yepyeni bir internet protokolü (IP) standardını piyasaya sürmek zorunda kalmıştır. Bu protokolün piyasaya çıkması ile CNN Money'nin bildirimlerine dayanarak, "artık dünyada herkes için bir ikinci yaşama yetecek kadar yani bir milyar IP adresi dolayında IP kombinasyonu yapmak mümkün olacak" yorumu kolayca yapılabilmektedir. Bu miktar 340 desilyon adrese ( $3.4 \times 10^{38}$ ) karşılık gelmektedir. Mevcut dünya nüfusunun yaklaşık 7 milyar insan olduğu ve halen 4,3 milyar IP adresinin kullanıldığı göz önüne alındığında bu kadar çok IP adresine ihtiyaç olabileceğini düşünmek saçma gelebilmektedir. Ancak nesnelerin nüfusu dikkate alındığında bu rakamın hiç de gerçek dışı olmadığı görülmektedir. Cisco Systems'e göre, 2020 yılına gelindiğinde milyarlarca giysilerden otomobil parçalarına kadar değişen geniş bir yelpazedeki nesnelerin içine gözle görülmeyecek şekilde iliştilmiş, yaklaşık 50 milyar ağ tabanlı cihaz olacağı öngörülmektedir [26].

RFID sistemler, kablosuz algılayıcı ağlar, adresleme şemaları, veri depolama ve analizleri ve görüntüleme sistemleri IoT' nin bileşenleri olarak sayılabilir [28].

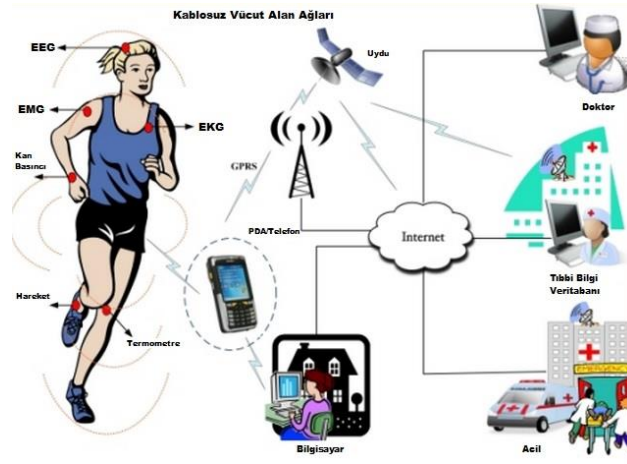


Nesnelerin interneti'nin sağlık hizmetleri ile uygulamaları genel olarak; nesnelerin ve insanların (hasta ve personel) takibi, kimlik tanımlama (identification) ve kimlik doğrulamaları (authentication), otomatik veri toplama ve uzaktan algılama olarak sınıflanabilir [15].

### ***Kablosuz Vücut Alan Ağları***

Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA) (Wireless Body Area Network, WBAN) IoT yapısının bir bileşeni olan KAA' lara benzer olarak bireylere ait fizyolojik sinyalleri algılama özelliğine sahip, kablosuz haberleşebilen, veri işleyebilen küçük boyutlara getirilmiş akıllı cihazlardan meydana gelmektedir. Algılayıcı düğümlerin insan vücudunun içerisine yerleştirilen, elbise şeklinde giyilebilir özellikte olan veya üstte taşınabilir olan türleri bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kablosuz haberleşebilen elektronik cihazların boyutları küçülüp işlem ve veri saklama kapasiteleri artarken, pil ömürleri uzatılmıştır. Bu sebeple, her zaman ve her yerde kullanılabilme imkânını sunan KVAA' lar, tıbbi izleme sistemleri için anahtar bir bileşen haline gelmişlerdir [2].

Şekil 2' de temel KVAA yapısı ve kişilerden elde edilen bilgilerin iletme süreçleri görülmektedir [29]. Bu yapının ilk bölümünde, insan üzerindeki çeşitli fizyolojik parametreleri ölçen kablosuz algılayıcı düğümler ve düğümlerin daha üst katmanda yer alan ağ yapısıyla haberleşmesini sağlayan bir kablosuz ağ geçidi (PDA, akıllı cep telefonu vb.) bulunmaktadır. Diğer bölümde ise ağ geçidi üzerinden gelen verileri kablosuz olarak toplayan bir erişim noktası ile bu erişim noktasına bağlı genellikle internet bağlantısı olan bir bilgisayar yer almaktadır. Bu bilgisayarda, toplanan verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesini sağlayan bir tıbbi izleme uygulaması çalışmaktadır ve tüm veriler yetkililerce uzaktan erişilebilecek şekilde kayıt altında tutulmaktadır [2].



***Şekil 2. Kablosuz vücut alan ağları***

Biyomedikal alanında kullanılan KVAA' ların temel amacı sağlık alanında kalite ve verimliliğin artırılmasının yanında olabilecek acil durumlar meydana gelmeden önce önleyici tedbir alınmasını sağlamaktır. KVAA' lar hayati fizyolojik verilerin belli bir eşik değerinin altına inmesi veya üzerine çıkması halinde ilk yardım hizmetini verecek olan kişilere veya sağlık merkezlerine uyarıda bulunabilmektedir. Bu durumda bilinç kaybı yaşayan, şoka girmiş veya kalp krizi geçiren bir bireyin durumu ve yeri hakkında kesin bilgiler elde edilerek, gereken tıbbi müdahale gerçekleştirilebilmektedir [2].

Tıp sektöründeki KVAA uygulamalarında kullanılan donanımların başında vücut içerisine yerleştirilen algılayıcılar, tablet şeklinde yutulabilir kameralar, yapay retina, giyilebilir EKG/EMG/EEG/SpO<sub>2</sub>, kan

basıncı ve sıcaklık ölçerler gelmektedir. Böylece kronik rahatsızlığı bulunan veya hayati risk taşıyan kişiler uzun süre ve aralıksız olarak herhangi bir mekân kısıtlaması olmadan izlenebilmektedirler.

Biyomedikal uygulamaları için KVAA tasarımında servis kalitesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu kapsamda, KVAA'da servis kalitesi gereksinimlerinden iletim gecikmesi ve veri iletim hızı öncelikli parametrelerdendir. Tablo1'de çeşitli tıbbi uygulamalar için iletim gecikmesi ve veri iletim hızı açısından servis kalitesi gereksinimleri görülmektedir [30, 31]. Tablodaki değerlerin üzerinde olan iletim gecikmelerinde hastalardan gelen fizyolojik veriler yanlış değerlendirmelere sebep olabilmektedir. Yine yeterli veri iletim hızlarının ağ içerisinde sağlanamaması durumunda, iletilecek veriler zamanında karşı tarafa iletilemeyecektir.

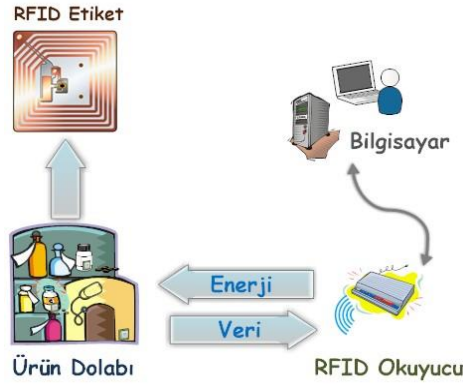
**Tablo 1. Farklı tıbbi uygulamalar için servis kalitesi gereksinimleri**

Uygulama	Veri İletim Hızı	Gecikme
EKG (3 uç)	2.4 Kbps	< 300 ms.
EKG (5 uç)	10 Kbps	< 300 ms.
Kalp Atış Hızı	2 Kbps	< 300 ms.
Kan Basıncı	120 bps	< 3 sn.
Sıcaklık	120 bps	< 3 sn.
SpO <sub>2</sub>	120 bps	< 3 sn.

### ***Radio Frekanslı Tanıma (Radio Frequency Identification (RFID))***

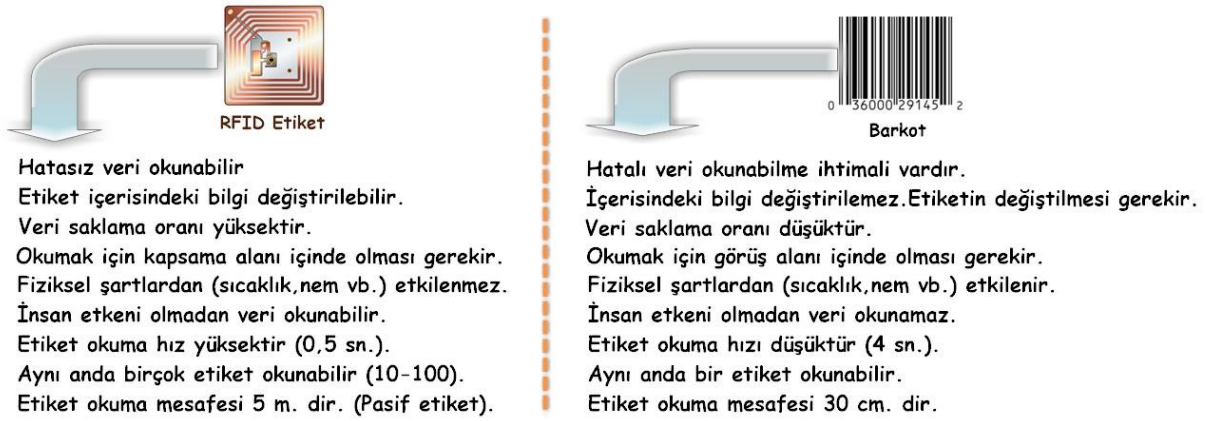
IoT teknolojisinin en önemli bileşenlerinden biri olan RFID (Radio frequency Identification - Radyo frekanslı tanımlama) genel olarak; canlıları ya da nesnelere radyo dalgaları ile tanımlamak için kullanılan teknolojilere verilen genel isimdir. RFID, kökleri 2. Dünya Savaşı yıllarına kadar uzanan bir teknolojidir. Almanlar, Japonlar ve Amerikalılar kilometrelerce uzaklıktaki düşman uçaklarını tespit etmek için radyo dalgalarını kullanıyorlardı. Radar adı verilen bu teknoloji, havacılıkta devrim yaratmış, pek çok hava muharebesinde etkin rol almış ve savaşın kaderini etkileyen unsurlardan biri olmuştur. Bu tekniğin en büyük problemi, radar sinyalleriyle tespit edilen uçakların dost mu yada düşman mı olduklarının anlaşılabilmesi olmuştur. Almanlar bu problemi, görevden dönen uçaklarına birtakım özel manevralar yaptırarak aşıyorlardı. Böylece kendi uçaklarının düşman uçaklarından ayırt edilebilmesi mümkün oluyordu. Bu yöntem, tarihte bilinen ilk radyo frekansıyla kimlik tespit (RFID) yöntemi olmuştur [32].

RFID; bir okuyucu ile etiket veya etiketlerden meydana gelen otomatik bir tanıma sistemidir. Etiket içinde bir mikroçip ve mikroçipi saran bir anten bulunmaktadır. Okuyucu ile etiket arasında, elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletişim kurulmaktadır. Okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar, bir enerji olarak çiple buluşup onu harekete geçirmektedir. Enerjilenen etiketten ise okuyucuya veri transferi yapılmaktadır. Tüm bunlar belli bir mesafede, herhangi bir temas olmadan ve kablosuz olarak gerçekleşmektedir. Okuyucu aldığı veri dalgasını sayısal dalga biçimine dönüştürerek bilgisayara aktarmaktadır [33]. Şekil 3'de RFID çalışma biçimi görülmektedir [34].



Şekil 3. RFID çalışma biçimi

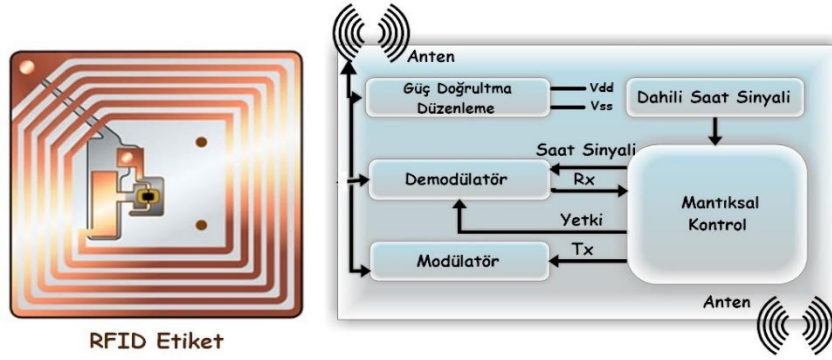
RFID etiketler ile barkodlar arasında çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 4’te barkodlar ile RFID etiketler arasındaki farkları liste halinde görülmektedir [34].



Şekil 4. RFID etiketleri ve barkod arasındaki farklar

RFID okuyucular, 30 kHz’ ten 3 GHz’ in üzerine kadar farklı frekans aralıklarında okuma gerçekleştirebilirler. Frekans arttıkça RFID etiket üzerinde bulunan mikroçipteki verilerin okunma uzaklığı da artar.

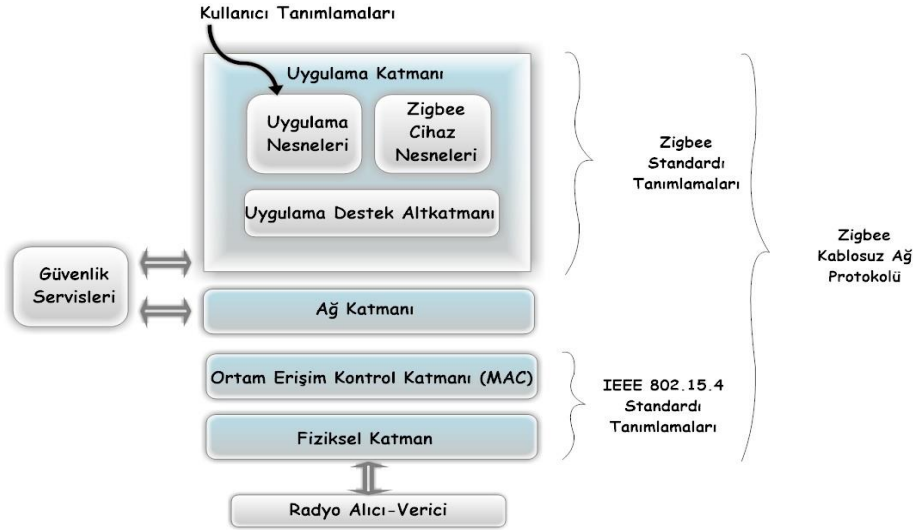
İçerisindeki bilgiyi koruyabilmek için pil kullanan etiketlere aktif etiket denmektedir. Aktif etiketler, okuma menzili açısından pasif etiketlere göre daha verimlidirler. Fakat pil bitme riski ve fiyat yüksekliği bakımından fazla tercih edilmezler. Pasif etiketler, okuyucudan yayınlanan radyo frekansı ile enerjilendikten sonra okuyucudan gelen komutu değerlendirir ve cevaplarını gönderirler. Aktif etiketler, bir verici ve bir güç kaynağına sahipken, pasif etiketler güç kaynağına sahip değildir. RFID okuyucular 1 ile 3 metre arasında etkili bir elektromanyetik alan oluştururlar. Pasif etiketler bu etki alanına girdiklerinde elektromanyetik alanın etkisi ile etkin hale gelerek sinyal üretirler. Okuyucu bu sinyali alarak bağlı olduğu bilgisayar sistemine iletir. Yarı aktif etiketler ise mikroçipin devrelerini harekete geçirmek için güç kaynağı kullanırken, iletişim kurmak için okuyucudan uyarı alırlar. Okuma işlemi yine okuyucunun yaydığı elektromanyetik alan yoluyla gerçekleşir [35]. Şekil 2.6’da RFID etiketi ve iç yapısı görülmektedir [36].



Şekil 5. RFID etiketi ve iç yapısı

#### IEEE 802.15.4

KAA haberleşme protokollerinin en önemlilerinden biri Zigbee kablosuz ağ protokolüdür. OSI referans modeline göre Zigbee kablosuz ağ protokolü katmanlarının görünümü Şekil 6'da görülmektedir [37]. Bu protokolün en alt iki katmanı olan fiziksel katman ve ortam erişim kontrol katmanının özellikleri, IEEE 802.15.4 standardı tarafından tanımlanmaktadır. Özellikle sağlık uygulamaları için bu iki katman üzerindeki diğer katmanlar, sistemin ihtiyaçlarına bağlı olarak kullanıcılar tarafından tanımlanabilmektedir. Bu bölümde kullanıcıların özelliklerini değiştiremediği IEEE 802.15.4 standardının özellikleri detaylı bir şekilde incelenecektir.



Şekil 6. Zigbee kablosuz haberleşme protokolü katmanları

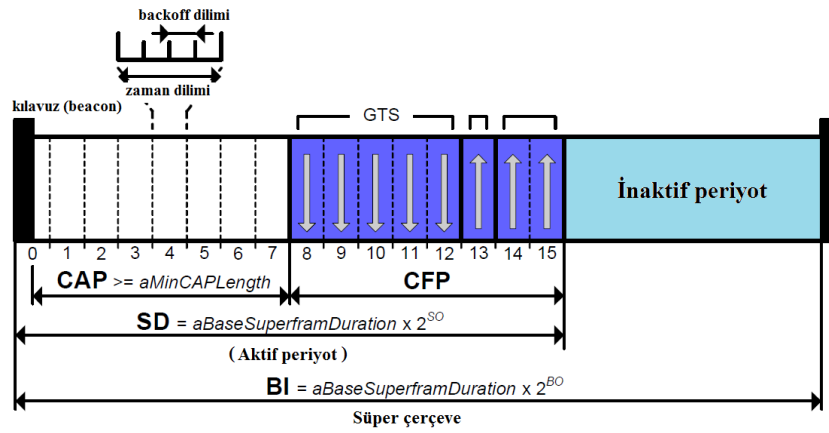
Zigbee standardı ana protokolün sadece ağ, uygulama ve güvenlik katmanları ile ilgili özellikleri tanımlar. Fiziksel ve ortam erişim katmanının (MAC) özelliklerinin tanımlandığı IEEE 802.15.4 standardı ile adapte olarak Zigbee ağ protokolünü tamamlarlar. IEEE 802.15.4 Zigbee standardından bağımsız olarak geliştirilmiştir. Böylece kullanıcılar IEEE 802.15.4 standardının tanımladığı fiziksel ve ortam erişim katmanlarının üzerinde kendi ağ (networking) ve uygulama katmanlarını geliştirebilmektedir [37].

IEEE 802.15.4 ortam erişim kontrol (Medium Access Control (MAC)) katmanı iki moda çalışabilmektedir. Bu modlar Kişisel Alan Ağı'nda (Personal Area Network (PAN)) bulunan erişim

noktası (PAN\_coordinator) tarafından seçilebilmektedir. Bu modlar; kılavuzlu mod (Beacon-enabled mode) ile kılavuzsuz mod (Non Beacon-enabled mode)'dur.

Kılavuzlu modda, kılavuz çerçevesi erişim noktası (PAN\_coordinator) tarafından süper çerçevede tanımlanmış şekilde cihazlar arasındaki senkronizasyonu sağlamak için üretilir. Kılavuzsuz modda cihazlar bölümsüz CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) mekanizmasını kullanarak ortama basit olarak veriyi gönderirler. Bu modda süper çerçeve (superframe) yapısı kullanılmamaktadır. Bu modun avantajı ölçeklenebilirlik ve ağı kendi kendine organize olabilmesidir. Bu modda verilerin alıcı uca varışı için zaman garantisi verilmemektedir [38].

Erişim noktası kılavuzlu modu seçtiğinde, kişisel alan ağına birbiri ile bağlantılı devrelerin haberleşmelerini yönetmek amacıyla süper çerçeve (superframe) yapısını kullanır. Süper çerçevenin formatı erişim noktası tarafından tanımlanır. Şekil 7'de süper çerçeve formatı görülmektedir [38].



Şekil 7. Süper çerçeve (Superframe)

Süper çerçeve içerisinde bulunan kılavuz zamanı (Beacon Interval (BI)), birbirini takip eden iki kılavuz (beacon) arasındaki süreyi ifade etmektedir. Aktif ve opsiyonel olarak ayarlanabilen inaktif periyotları içerir. Süper çerçeve zamanına (Superframe Duration (SD)) karşılık gelen aktif periyotta süre 16 eşit zaman kanalına bölünür ve veriler bu zaman süresi içerisinde iletilir. Her aktif periyot çekişme erişim periyodu (Contention Access Period (CAP)) ve opsiyonel olarak belirlenen çekişme serbest periyodu (Contention Free Period) kısımlarına bölünebilir. Kanallı CSMA/CA, CAP kısmını kullanmaktadır. CFP kısmı bir cihazdan erişim noktasına istek geldiği zaman aktif edilmektedir. Cihazdan istek geldiği zaman erişim noktası eğer mümkünse ve yeterli kaynak varsa istenilen sayıda zaman kanalını cihaza tahsis eder. İstenilen zaman kanalı grubu, garanti edilmiş zaman kanalı (Guaranteed Time Slot (GTS)) olarak adlandırılır ve yalnız isteyen cihaza verilir. Bir CFP 7 GTS'ye kadar destekler ve bir GTS çoklu zaman kanalları içerebilir.

Kılavuzlu modda, erişim noktası tarafından tanımlanan kılavuz paketleri, kişisel alan ağına kimliklendirilmiş cihazlara, cihazlar arasındaki senkronizasyonu sağlamak amacıyla periyodik olarak gönderilir. Süper çerçeve yapısında tanımlanmış iki parametre olan Beacon Order (BO) ve Superframe Order (SO) ile süper çerçevenin ve aktif periyodun uzunlukları belirlenmektedir. BO ve SO değerleri birbirleri ile ilişkili olarak  $0 \leq SO \leq BO \leq 14$  olarak ayarlanmalıdır. Süper çerçevenin uzunluğu (BI) ve aktif periyodun uzunluğu (SD) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO}$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO}$$

$aBaseSuperframeDuration$ , BO değerinin sıfır olduğu değer için sabit bir değeri ifade eder. IEEE 802.15.4 standardı için bu süre 960 sembol olarak sabitlenmiştir. Yani en düşük kılavuz süresi 960 semboldür. 2,4 GHz iletişim için sembol hızı saniyede 62,5 Kilosemboldür ve her sembol 4 bit uzunluğundadır. Buradan en düşük kılavuz süresi ( BI ); 960 sembol için 15,36 milisaniyedir. 15,36 milisaniyede  $960 \times 4 = 3840$  adet bit taşınmaktadır [37].

$SO = BO$  olduğu durumda formülden de görüldüğü  $BI = SD$  olacaktır ve süper çerçeve sürekli aktif durumda olacaktır. SO değerinin BO değerinden küçük olduğu durumlarda süper çerçevenin bir kısmı aktif, bir kısmı inaktif periyotta çalışacaktır. Standarda göre  $BO = 15$  olduğunda süper çerçeve olmayacaktır ve ağ kılavuzsuz modda çalışacaktır. BO' nun bu değeri için SO değeri dikkate alınmamaktadır. Sonuç olarak, eğer bir kişisel alan ağı süper çerçeve yapısını kullanacaksa BO ve SO değerlerinin 0 ile 14 arasında olması gerekmektedir [38].

Her aktif periyot kendi içinde bir çekişmeli erişim periyoduna (Contention Access Period (CAP)) ve opsiyonel olarak çekişmeli serbest periyoda (Contention Free Period (CFP)) bölünebilir. Son cihaz olarak isimlendirilen (End Device) düğümlerden erişim noktasına istek geldiğinde CFP aktif edilir ve erişim noktası, istekte bulunan düğümlere kritik zamanlı veriler için gerçek zamanlı garanti verir. GTS olarak adlandırılan bu modda, kişisel alan ağı içerisindeki cihazların ortam içerisinde çekişmesiz olarak birbirlerine erişmelerine izin verilir. GTS sadece erişim noktası tarafından tahsis edilebilir ve yalnız cihazlar ile erişim noktası arasında veri transferi için kullanılır. Veri transferi ya son cihazdan (End Device) erişim noktasına doğru (transmit direction) ya da erişim noktasından son cihaza doğrudur. Eğer yeterli uygun kaynak yoksa GTS tahsisi erişim noktası tarafından engellenir [38].

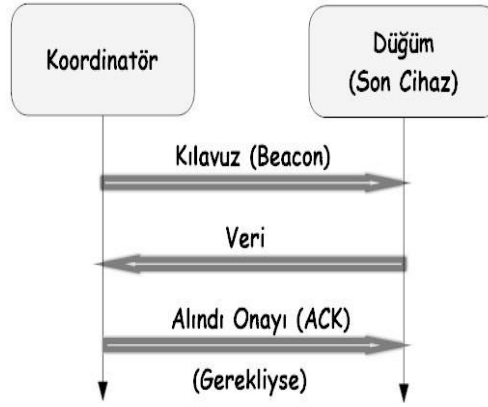
Kılavuzlu modda ağdaki tüm cihazlar düzenli bir şekilde uyanmalı, kılavuzu beklemeli, saat sinyali ile senkronize olmalı ve tekrar uyumalıdır. Bunun anlamı, ağdaki bir çok cihazın sadece senkronizasyon için uyanmaları ve aktif oldukları sürece başka hiçbir iş yapmamalarıdır. Bu kılavuzlu modun dezavantajlarından biridir. Bu nedenden dolayı kılavuz kullanan ağlardaki cihazların batarya ömrü kılavuz kullanmayan ağlardaki cihazların batarya ömrüne göre fark edilebilir şekilde daha azdır. Çünkü kılavuz kullanmayan ağlarda cihazlar bu kadar sık uyanmamaktadır [37].

IEEE 802.15.4 standardı veri yükü (Payload) çerçevesi MAC (Medium Access Control) başlığı (MAC header) ile birlikte paketlenerek geçici bellekte saklanır. MAC başlığın varsayılan değeri (MAC\_HEADER\_SIZE) (16 bit kısa adresleme ile) 104 bittir. Bütün paketin boyutu (veri yükü+MAC başlığı) maximum 1016 bit olabilmektedir ( $aMaxPHYPacketSize$ ) [2]. Şekil 8'de MAC katmanındaki veri paketi yapısı görülmektedir [37].



Şekil 8. MAC katmanı veri paketi yapısı

Kılavuzlu moda göre cihazlar arasındaki veri haberleşmesinin sırası Şekil 9'da görülmektedir [37].



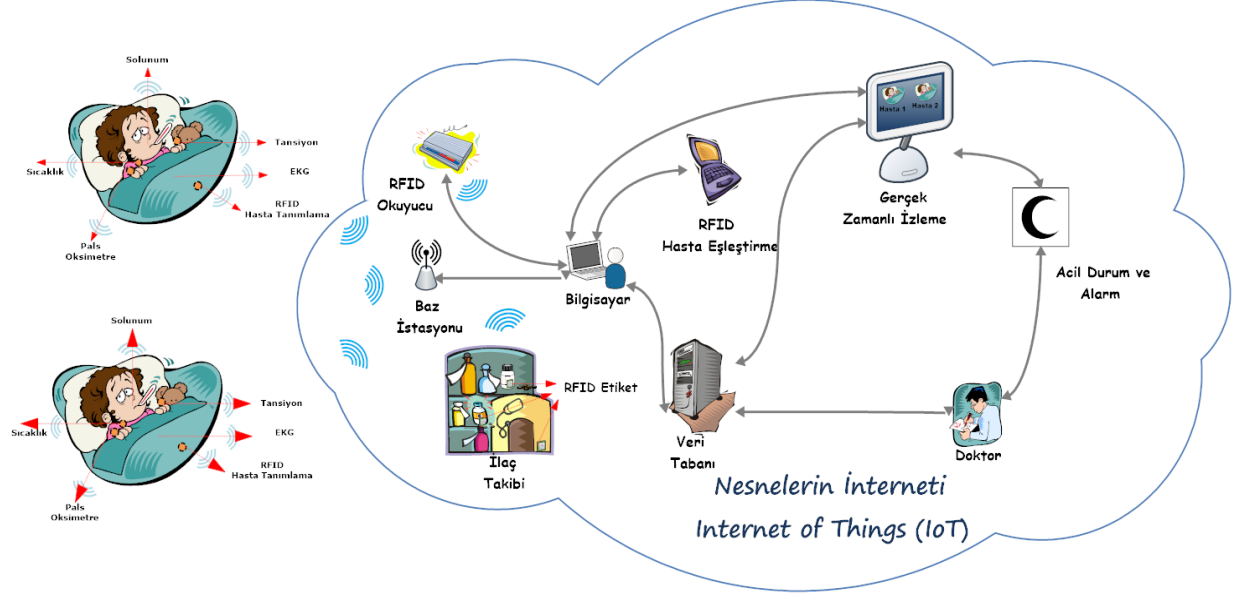
Şekil 9. IEEE 802.15.4'te kılavuzlu moda cihazdan koordinatöre veri gönderimi

### III. ÖNERİLEN SİSTEM MİMARİSİ

Çalışmanın bu bölümünde, IoT kapsamında KVAA ve bu ağlara entegre edilecek RFID teknolojisi kullanılarak bebek yoğun bakım ünitesinde tedavi gören bebeklerdeki hayati fizyolojik verilerin hem hastane ortamından hemde uzaktan izlenmesinin amaçlandığı bir IoT platformu tasarımı önerilmektedir (Şekil 10). Önerilen platformun temel amaçları şunlardır:

- RFID etiketler yardımıyla, bebeklerin hastaneye girerken kimlik tanımlamalarını yapmak,
- RFID ile bebeğin sisteme kimlik tanımlamaları yapılarak, bebeğin geçmiş dönemde yaşadığı hastalıkların, gördüğü tedavilerin, alerjisi olduğu ilaçlar ile ilgili bilgilerin yine bebek ile ilgili etikete web tabanlı ara yüz ile işlenebilmesini sağlamak,
- Yoğun bakım ünitesinde bulunan hastaya ait etikete, hastanın hastaneye hangi şikayetle geldiği, hastanede yapılan tetkikler, yapılan teşhis ve uygulanacak ilaç ve tedavi yöntemlerinin yazılması,
- Uygulanacak ilaç tedavisi ile ilgili alarm durumları oluşturularak ilgili personellerin ilaç saatleri konusunda uyarılmasını sağlamak,
- IoT bileşenlerinden biri olan KVAA kullanarak bebeklerden izlenen hayati fizyolojik verilerin (EKG, pals oksimetresi, nabız, tansiyon, solunum, vücut sıcaklığı vb.) toplanmasını sağlamak,
- Bebeklerden alınan fizyolojik verilerin daha sonra işlenmek üzere depolandığı veri toplama modülü oluşturmak,
- Yoğun bakım ünitesinde bulunacak bir ekran yardımıyla hangi hastanın hangi yatakta yattığını ve fizyolojik verileri ile ilgili bilgilerin gösterimini sağlamak,
- Bebeklerden gelen verilere göre oluşacak acil durumlar için alarm verecek, bu alarm bilgisini hem ekranda gösterecek hemde doktora bildirecek bir modül oluşturmak,

- Yoğun bakım ünitesinde bulunan ilaçlara takılacak RFID etiket yardımı ile envanter takibi yaparak eksilen ilaçların tespiti ve teminini gerçekleştirmeye yönelik bir modül oluşturmak,
- Bebeklere ait fizyolojik verilerin uzaktan internet bağlantısı ile doktorlar tarafından izlenmesini sağlamak.



Şekil 10. Önerilen IOT platformunun mimarisi

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bebek yoğun bakım ünitesinde yatmakta olan bebeklerden alınan fizyolojik verilerin hem hastane ortamından hem de hastane ortamı dışından izlenmesine olanak sağlayan IoT tabanlı sistem önerilmiştir. Ayrıca önerilen bu sistem sayesinde ilgili yoğun bakım ünitesindeki ilaç envanterlerinin takibinin de yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmada, IoT teknolojisinin hem kendisi hem de önerilen platformun temel bileşenleri olan KVAA ve RFID sistemleri tanıtılmıştır. KVAA sistemlerinin servis kalitesi ihtiyaçlarından bahsedilerek IEEE 802.15.4 standardı geniş olarak incelenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, önerilen sistemin tamamlanmasına yönelik benzetimler ve gerçek zamanlı bir uygulamanın yapılması planlanmaktadır. Önerilen sistemin gerçek zamanlı uygulamasının gerçekleştirilmesi aşamasında web tabanlı ve kullanıcı dostu bir arayüzün geliştirilmesi hedeflenmektedir.



## V. KAYNAKLAR

- [1] National Institute on Aging, National Institutes of Health, U.S. Department of Health and Human Services, and World Health Organization, *Global Health an Ageing*, NIH Publication No. 11-7737, (2011).
- [2] İ. Kırbaş, *Online Kablosuz İnkübatör İzleme ve Kontrol Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya-Türkiye, (2013).
- [3] İleri Görüş, *Nesnelerin Geleceği, 2*, Harward Business Review Türkiye & TURKCELL, (2015).
- [4] G. Yang , L. Xie, M. Mantysalo, X. Zhou, Z. Pang, D. L. Xu, S. Kao-Walter, Q. Chen, L. Zheng *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* **10(4)** (2014) 2180-2191.
- [5] J. Luo, K. Tang, Y. Chen, J. Luo, *Remote Monitoring Information System and Its Applications Based on the Internet of Things*, **International Conference on Future Biomedical Information Engineering (FBIE 2009)**, Sanya-China, (2009) 482-485.
- [6] A. J. Jara, F. J. Belchi, A. F. Alcolea, J. Santa, M. A. Zamora-Izquierdo, A. F. Gomez-Skarmeta, *A Pharmaceutical Intelligent Information System to Detect Allergies and Adverse Drugs Reactions based on Internet of Things*, **8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)**, Mannheim-Germany, (2010) 809-812.
- [7] V. M. Rohokale, N. R. Prasad, R. Prasad, *A Cooperative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control*, **2nd IEEE International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)**, Chennai-India, (2011) 1-6.
- [8] C. Bayilmis, M. Younis *Journal of Medical Systems* **36(3)** (2012) 1593-1601.
- [9] Z. Zhang, X. Hu, *Zigbee based Wireless Sensor Networks and Their Use in Medical and Health Care Domain*, **7th International Conference on Sensing Technology (ICST 2013)**, Wellington-New Zealand, (2013) 756-761 .
- [10] W. Chunming, Z. Xuemei, *Routing Algorithm Simulation of The Patient Monitoring System Based on Zigbee*, **2nd International Conference on Networking and Digital Society (ICNDS)**, Wenzhou-China, (2010) 26-29.
- [11] L. J. Celentano, *RFID – Assisted Wireless Sensor Networks for Cardiac Tele-healthcare*, Master Thesis, Rochester Institute of Technology, Rochester-England, (2007).
- [12] R. Kurban, *Kablosuz Taşınabilir Uzaktan Sağlık İzleme Sistemi: Mobil Sağlık Danışmanı*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri-Türkiye, (2006).
- [13] H. E. Çetin, *Kablosuz Sensör Ağlarının MicaZ Tabanlı Biyomedikal Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir-Türkiye, (2009).
- [14] Ş. Baş, *Kişisel Alan Ağları ve Giyilebilir Bilgisayarların Kullanımıyla Gerçekleştirilecek Bir Hasta İzleme Sistemi Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, (2011).
- [15] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito *Computer Networks* **54** (2010) 2787-2805.
- [16] C. R. Baker, K. Armijo, S. Belka, M. Benhabib, V. Bhargava, N. Burkhart, A. D. Minassians, G. Dervişoğlu, L. Gutnik, B. M. Haick, C. Ho, M. Koplów, J. Mangold, S. Robinson, M. Rosa, M. Schwartz, C. Sims, H. Stoffregen, A. Waterbury, E. S. Leland, T. Pering, P. K. Wright, *Wireless Sensor Networks for Home Health Care*, **21st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINAW'07)**, Niagara Falls-Canada, (2007) 832-837.
- [17] D. Lee, S. Bhardwaj, E. Alasaarela, W. Chung, *An ECG Analysis on Sensor Node for Reducing Traffic Overload in u-Healthcare with Wireless Sensor Network*, **IEEE Sensors Conference**, Atlanta-USA, (2007) 256-259.
- [18] F. Hu, Y. Xiao, Q. Hao *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* **27(4)** (2009) 450-465.

- [19] L. Yang, R. Vyas, A. Rida, J. Pan, M. M. Tentzeris, *Wearable RFID-Enabled Sensor Nodes for Biomedical Applications*, **IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC)**, Lake Buena Vista-USA, (2008) 2156-2159.
- [20] M. R. A. Rahim, R. A. Rashid, S. H. S. Ariffin, N. Fisal, M. A. Sarijari, A.H. F. Abdulhamid, *Testbed Design for Wireless Biomedical Sensor Network (WBSN) Application*, **IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE)**, Penang-Malaysia, (2011) 284-289.
- [21] D. Malan, T. Fulford-Jones, M. Welsh, S. Moulton, *CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care*, **Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems (WAMES 2004)**, Boston-USA, (2004) 12-14.
- [22] F. Aktaş, C. Çeken, Y. E. Erdemli, *Kablosuz Vücut Alan Ağları Kullanılarak Fizyolojik Sinyallerin Servis Kalitesi Desteği ile Aktarımı*, **Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi (TIPTEKNO'15)**, Muğla-TÜRKİYE, (2015) 529-532.
- [23] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash *IEEE Communication Surveys & Tutorials* **17(4)** (2015) 2347-2376.
- [24] N. Kutup, *Nesnelerin İnterneti; 4H Her yerden , Herkesle, Her zaman, Her nesne ile bağlantı*, **16. Türkiye'de İnternet Konferansı inet-tr'11**, İzmir-Türkiye, (2011) 1-5.
- [25] Bilişim, <http://www.bilisimdergisi.org/s159> (Erişim tarihi: 01<sup>th</sup> of December, 2015).
- [26] M. Rauf Ateş, [http://siemens.e-dergi.com/pubs/gelecek\\_ve\\_trendler/2013/2013\\_02.html](http://siemens.e-dergi.com/pubs/gelecek_ve_trendler/2013/2013_02.html) (Erişim tarihi: 01<sup>th</sup> of December, 2015).
- [27] <http://www.satiztpm.it/internet-things/?lang=en> (Erişim tarihi: 01<sup>th</sup> of December, 2015).
- [28] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami *Future Generation Computer Systems* **29(7)** (2013) 1645-1660.
- [29] S. Saleem, S. Ullah, K. S. Kwak *Sensors* **11(2)** (2011) 1383-1395.
- [30] G. T. Chen, W. T. Chen, S. H. Shen, *2L-MAC: A MAC Protocol with Two-Layer Interference Mitigation in Wireless Body Area Networks for Medical Applications*, **IEEE International Conference on Communications (ICC)**, Sydney-Australia, (2014) 3523 - 3528.
- [31] C. Tachtatzis, F. D. Franco, D. C. Tracey, N. F. Timmons, J. Morrison *ADHOC Networks* **89** (2012) 209-222.
- [32] T. Kılınç, *RFID Sistemlerin İncelenmesi ve Sağlık Sektöründe Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2007).
- [33] Z. Pala, *RFID Teknolojisinin Acil Müdahalede Kullanımı*, **Akademik Bilişim'09**, Şanlıurfa-Türkiye, (2009) 1-5.
- [34] Z. Pala, *RFID Teknolojisi İle Otomasyon Bir Uygulama Olarak: Otopark Takibi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van-Türkiye, (2007).
- [35] B. Tuğaç, *Radyo Frekansı ile Kimlik Tanıma - RFID*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2007).
- [36] R. Vaddi, R. P. Agarwal, S. Dasgupta, T. T. Kim *Journal of Low Power Electronics and Applications* **1** (2011) 277-302.
- [37] S. Farahani , *Zigbee Wireless Networks and Transceivers*, Newnes, ELSEVIER, (2009).
- [38] P. Jurcik, A. Koubaa, *The IEEE 802.15.4 OPNET Simulation Model: Reference Guide v2.0*, IPP HURRAY Research Group, Tech. Rep. TR-070509, (2009).