

Sağlık Hizmetleri Sektöründe Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Selma Dilek, Suat Özdemir

Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
selmadilek@gmail.com, suatozdemir@gazi.edu.tr
 (Geliş/Received: 17.09.2013; Kabul/Accepted: 05.05.2014)

DOI: 10.12973/bid.2016

Özet- Kablosuz iletişim ve elektronik alanlarındaki gelişmeler, akıllı ve çok fonksiyonlu olan düşük maliyetli, düşük güç, küçük boyutlu ve kısa mesafelerde iletişim kurabilen algılayıcı düğümlerinin gelişimini sağlamıştır. Bu minyatür algılayıcı düğümlerinin, sınırlı algılama, ölçüm, iletişim ve veri toplama ve işleme özelliklerinin olması, izlenmesi gereken alan üzerinde yoğun bir şekilde ve çok sayıda dağıtılan algılayıcı düğümleri kümesi olan Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) fikrine yol açtı. KAA'lar, askeri, sanayi, sağlık, acil durum yönetimi ve eğlence gibi birçok alanda çok sayıda hayat değiştiren uygulamalar imkânını sunmaktadır. Araştırmacılar, KAA teknolojisinin tıbbi teknolojileri ile entegre olup sağlık sektöründe uzaktan sağlık gözetimi, evde yardım hizmetleri, yeni nesil klinik araştırmalar için büyük miktarda veri toplanması gibi yeni fırsatları sağlayacağını uzun zaman önce öngörmüşlerdi. Yaygın KAA teknolojileri, birçok yararlı biyolojik, farmasötik ve tıbbi uygulamaları sağlayarak, sağlık maliyetlerini azaltmak için yeni çözümler sunabilir. Bu çalışma, sağlık hizmetleri sektöründe KAA'ların kavramlarını, faydalarını, tasarım sorunlarını ve ihtiyaçlarını ve bu alandaki açık araştırma konularını ele alan, gelecekte yapılacak çalışmalar için yol gösterme anlamında faydalı olacağı umulan özlü bir derleme çalışmasıdır.

Anahtar Kelimeler- Kablosuz algılayıcı ağlar, biyolojik kablosuz algılayıcı ağlar, kablosuz vücut alanı algılayıcı ağlar, teletıp, e-sağlık, m-sağlık

Wireless Sensor Networks in Healthcare

Abstract- Advances in wireless communications and electronics have enabled the development of smart, multifunctional sensor nodes that are low-cost, low-power, small in size and can communicate in short distances. These miniature sensor nodes have limited capabilities of sensing, measuring, gathering and processing data, and communication, which led to the idea of wireless sensor networks (WSNs), i.e. collections of a large number of densely deployed sensor nodes over the area to be monitored. WSNs offer possibility for a vast number of life-changing applications in numerous areas, such as military, industry, healthcare, emergency management, entertainment, etc. Researchers foresaw long ago that advances in WSN technology would enable its integration with medical technology to provide new opportunities for healthcare such as remote health monitoring, in-home assistance, and collection of vast amounts of data for next-generation clinical trials. Pervasive WSN technology may provide solutions for reducing the costs of healthcare by enabling many beneficial biological, pharmaceutical and medical applications. This paper is a concise survey of relevant concepts, benefits, design issues and requirements, and open research topics for WSNs in healthcare, which is expected to be helpful in terms of giving directions for future work in the field.

Keywords- Wireless sensor networks, biological wireless sensor networks, wireless body area networks, telemedicine, e-health, m-health

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

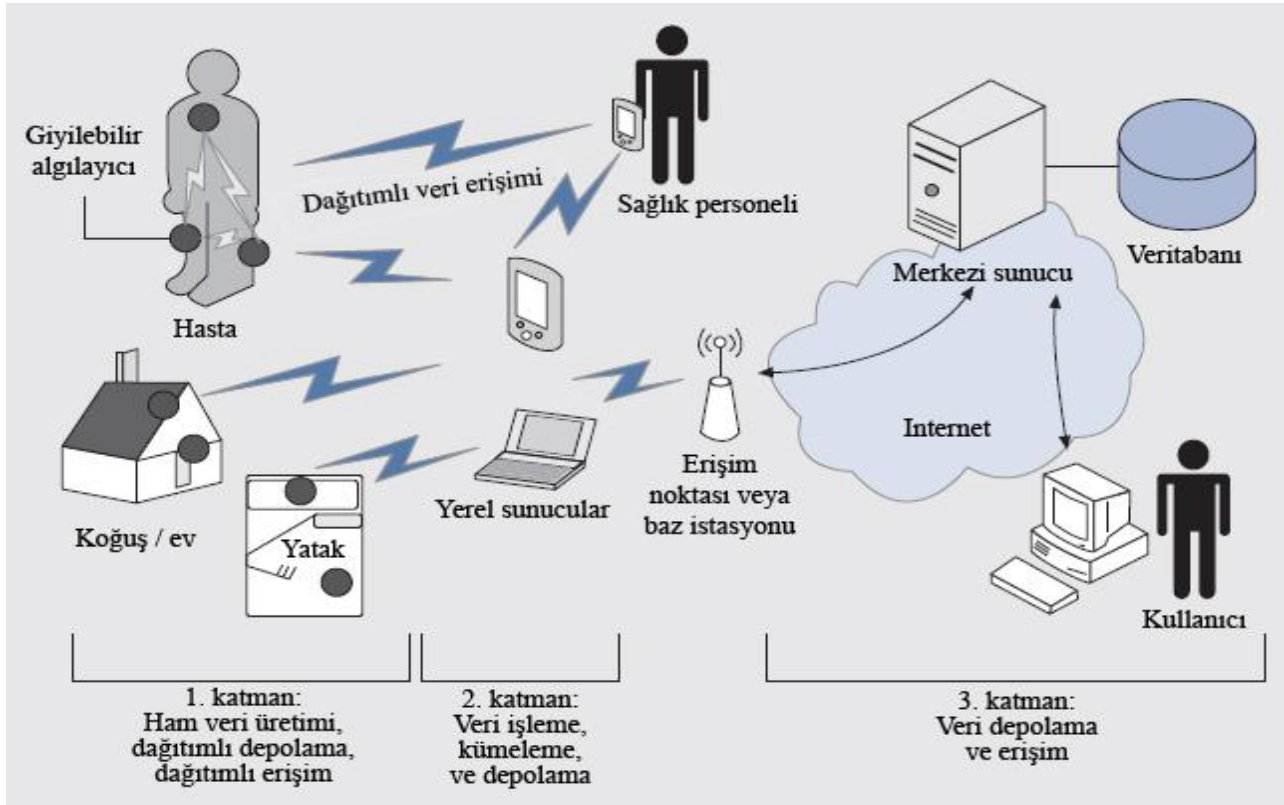
Kablosuz iletişim ve elektronik (düşük güç entegre devreler, ultra düşük güçlü radyo frekans teknolojisi, vb), ve özellikle Mikroelektro Mekanik Sistemleri (MEMS) teknolojilerindeki gelişmeler, düşük maliyetli, düşük güçlü, boyut olarak küçük ve kısa mesafelerde iletişim kurabilen akıllı, çok fonksiyonlu algılayıcı düğümlerinin gelişimini sağlamıştır. Bu minyatür algılayıcı

düğümlerinin, kısıtlı veri algılama, ölçüm, toplama, işleme ve iletişim kapasiteleri vardır, bu da Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) fikrine, yani izlenecek alan üzerinde çok sayıda yoğun bir şekilde yerleştirilmiş algılayıcı düğüm ağları fikrine yol açmıştır [1, 2].

KAA teknolojisi için uygulama alanı, askeri, sanayi, sağlık, acil durum yönetimi, eğlence, vb [3, 4] gibi sayısız

alanda hayat değiştiren uygulamalarla çok sayıda olanak sunarak dinamik bir şekilde genişliyor. Bu çalışmanın

odak noktası, tıbbi bakım ve izleme ve diğer sağlık hizmetleri için KAA uygulamalarıdır.



Şekil 1. İki katmanlı bir KVAA'nın genel mimarisi (WBAN Architecture) [5]

Araştırmacılar, KAA teknolojisindeki ilerlemelerin sağlık hizmetlerine yeni fırsatlar sağlamak için KAA ile medikal teknolojilerinin entegrasyonunu sağlayacağını uzun zaman önce öngörmüştü (örneğin; ev içinde yardım ve destek, klinik çalışmalar, uzaktan sağlık izleme, araştırma büyütme, vb) [6].

Bu, Birleşmiş Milletlerin son bulguları tarafından da bildirildiği gibi, hızlı bir şekilde dünya nüfusunun yaşlanması doğrultusunda özellikle önemlidir [7]. 2050 yılında, yaşlı sayısının genel nüfusun yüzde 21'ine ulaşması (2000 yılında yüzde 10'a tekabül ederken) tahmin edilmektedir, böylece tarihte ilk kez genç sayısını aşmış olacaktır.

Ayrıca, yaşlanma konusunda ABD Ulusal Enstitüsü tarafından yayınlanan son rapor şu gerçeği açığa çıkarır: küresel sağlık üzerindeki en büyük yük, gelişmekte olan ülkelerde kronik bulaşıcı olmayan hastalıkların yükselişidir; yani kalp hastalığı, kanser ve şeker hastalığı gibi yetişkin ve yaşlı insanlar arasında daha yaygın olan hastalıkların [8]. Rapor ayrıca, bu eğilimin ciddi bir şekilde ekonomik büyümeyi etkileyeceğini de öngörmektedir.

Yukarıda bahsedilenlerin ışığında, yaygın KAA teknolojisi, evde ya da mobil sağlık hizmetleri ve uzaktan

sağlık izleme olanağı sağlayarak, sağlık hizmetlerinin maliyetlerini azaltmak için çözümler sağlayabilir. Hatta yeni nesil klinik denemeler için büyük miktarda veri toplanması, hafıza geliştirme, tıbbi veriler arama, acil müdahale gibi daha birçok yararlı biyolojik, ilaç ve tıbbi uygulamalara ve kolaylıklara bile yol açabilir [6].

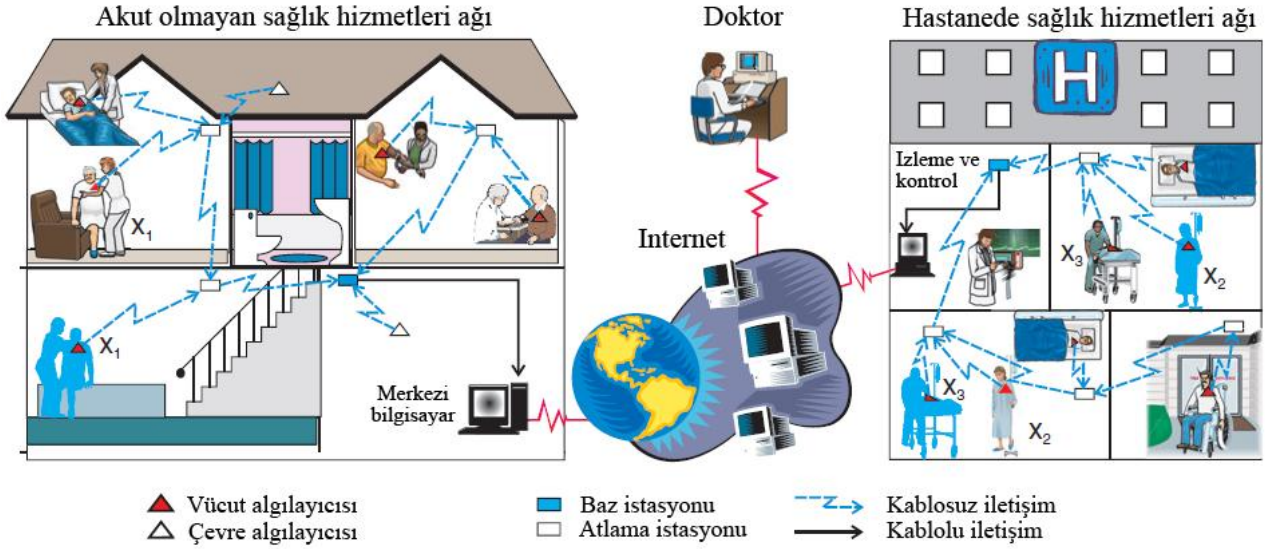
Sağlık hizmetlerinde KAA teknolojisinin bir diğer avantajı ise hastanın konforudur. Kablosuz olarak tıbbi algılayıcıların bağlanması, herhangi bir mekansal kısıt olmaksızın gerçek zamanlı olarak hastanın izlenmesi, yüksek riskli hastalar için acil durumların erken tespitini ve bilişsel ve fiziksel engelliler için çeşitli sağlık hizmetleri imkanını sunmaktadır [6]. Hastaların yanı sıra, aileleri veya bakıcıları da yüksek kaliteli bakım hizmeti sunan bu teknolojiye yararlanabilirler [3].

Bu çalışma, sağlık hizmetleri sektöründe KAA'ların kavramlarını, faydalarını, tasarım sorunlarını ve ihtiyaçlarını, ve bu alandaki açık araştırma konularını ele alan, gelecekte yapılacak çalışmalar için yol gösterme anlamında faydalı olacağı umulan özlü bir derleme çalışmasıdır. Ayrıca, bu çalışmanın kaynakçada verilen ve incelenmiş olan diğer derlemeye göre farkı, daha güncel olması ve konuyu biraz daha geniş bir kapsamda ele almasıdır.

2. SAĞLIK HİZMETLERİ SEKTÖRÜNDE KAA'LAR: KAVRAMLAR VE FAYDALARI (WSNs in HEALTH SERVICE SECTOR: CONCEPTS AND BENEFITS)

Sağlık hizmetleri için KAA bazlı sistemlerin, Biyolojik Kablosuz Algılayıcı ağlar (BKAA'lar), Kablosuz Vücut

Alanı Algılayıcı Ağlar (KVAA'lar), ayakta tedavi için (ambulatory) KAA'lar, Kablosuz Kişisel Alan Ağları (KKAA'lar), teletıp, e-Sağlık ve m-Sağlık gibi çeşitli kavramları vardır.



Şekil 2. Temel Sağlık Hizmetleri KAA (Basic healthcare WSN) [9]

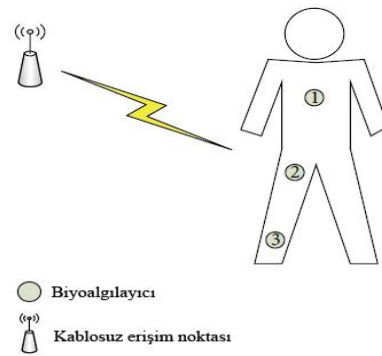
KVAA'lar (Bkz; Şekil 1) hastanın hayati vücut belirtilerinin ve hareketlerinin izlenmesi ve kısa menzilli kablosuz iletişim tekniklerini kullanarak toplanan verilerin iletimi için hastanın vücut yüzeyine veya giysilerine takılmış yada doku içine implante edilmiş bağlantılı algılayıcı düğümlerinden oluşan ağlardır.

KVAA'ların ev içi sağlık hizmetleri, ilacın terapötik etkilerinin incelenmesi, kronik hastalıkları olan hastaların hayati bulgularının kaydı ve görüntülenmesini, vb. içeren çok sayıda uygulama olasılıkları vardır. Algılayıcı düğümler, girişimsel olmayan (vücuda girişi içermeyen) faaliyet algılayıcılarından (örneğin radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketleri, elektrokardiyogram (EKG) algılayıcıları ve ivmeölçerler), yardımcı cihazlara, implante edilen girişimsel tıbbi cihazlardan, biyomedikal / biyokimyasal algılayıcılara kadar her şey olabilir [3, 5].

Tipik bir ayakta tedavi için KAA Şekil 2'de gösterilmiştir. Düşük enerji tüketimli radyoları olan algılayıcı düğümleri, hastanın biyometrik veri toplama, kümeleme ve işleme için uzak baz istasyonlarına (Bİ'leri) sahip olan sağlık hizmeti birimlerine yerleştirilmektedir (örneğin hastane, ev). Bİ'leri kablosuz bir şekilde iletişim kurar ve hastaların bir birimden diğerine hareket etmesine olanak tanır. Veriler internet aracılığıyla daha yüksek seviyedeki

bir denetleyiciye de yönlendirilebilir [9].

BKAA'lar, biyolojik süreçleri izlemek ya da kontrol etmek için vücuda takılabilen yada implante edilebilen küçük kablosuz cihazlar olan biyolojik algılayıcılardan (biyoalgılayıcılardan) oluşan ağlardır (Bkz. Şekil 3.). Biyoalgılayıcılar, biyolojik reaksiyonlar ve değişikliklere yanıt olarak gelişen elektrik sinyallerinin algılanması için güç çeviricilerle entegre olmuş biyolojik malzemeler kullanırlar (örneğin, enzimler ve antikorlar) [10].



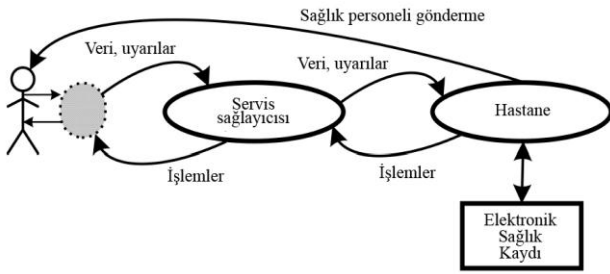
Şekil 3. Bir BKAA örneği (Example BWSN) [10]

KKAA'lar bireyin çalışma alanına yerleştirilebilen telefonlar ve kişisel dijital yardımcılar (PDA) gibi diğer elektronik aygıtlara bağlanabildiğinden KVAA'lara nazaran daha yaygın olarak kullanımdadır. KKAA'lar da

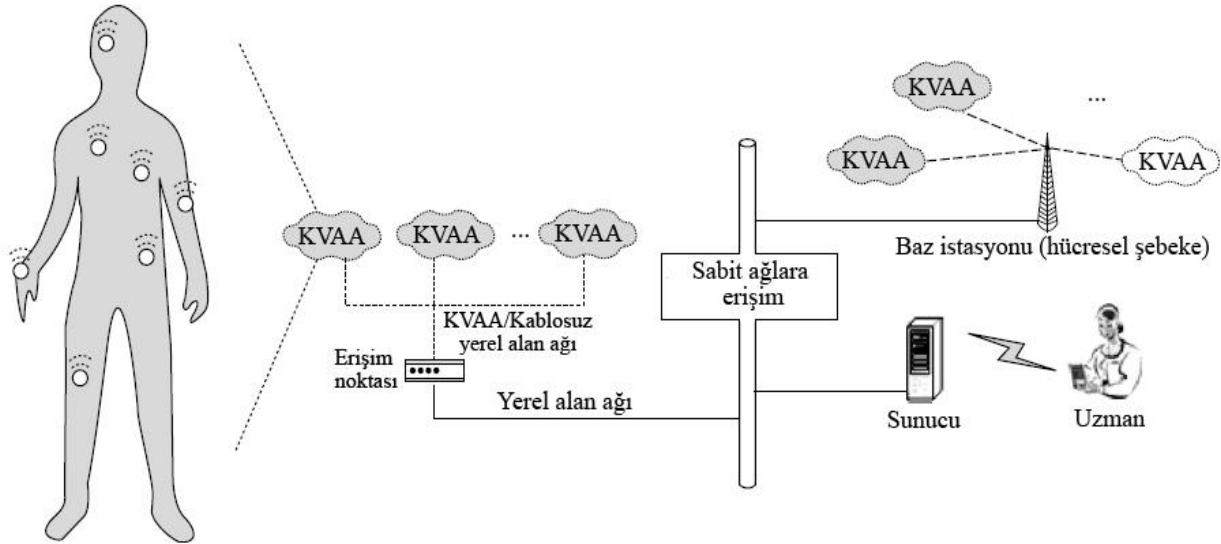
sağlık hizmetlerinde kullanılabilirler (örneğin; ameliyat sırasında doktorlar arasındaki iletişim için).

Teletıp temelde sağlık çalışanları arasındaki iletişimi sağlayan hastane ortamının bir uzantısıdır ve hastaların tanı cihazları kullanılarak evde bakım ya da acil uygulamalar için uzaktan izlendiği yerlere erişim sağlar. Kablosuz teknolojilerdeki ilerlemeler mobil, giyilebilir ve esnek sağlık izleme sistemleri sağlayan yeni nesil teletıp sistemlerinin gelişmesini sağladı.

KAA'lar ayrıca elektronik işlem ve iletişim yoluyla hastanın sağlığının doğrudan izlemesini sağlayan e-Sağlık sistemleri (Bkz. Şekil 4) içinde de kullanılabilir (örneğin, yaşamsal bulguları izleme için implante edilebilir cihazlar). E-Sağlık sistemleri, KAA veya KVAA olarak organize edilebilir ve hastanın sağlığı ile ilgili bir problem durumunda zamanında yanıt vermeyi sağlayabilir (örneğin, tedavi mümkünse, onun doğrudan uygulanması, ilaç teslimi, hastaneye alarm vermek, vb) [11].



Şekil 4. e- Sağlık (E-Health) [11]



Şekil 5. m-Sağlık sisteminde kişiselleştirilmiş KVAA'ların entegrasyonu (Integration of Personal BWSNs in M-health System) [12]

Mobil sağlık (m-Sağlık) (Bkz. Şekil 5), sağlık hizmetleri için mobil bilgi işlemi, tıbbi algılayıcılar ve iletişim teknolojilerini kullanmayı ifade eden, e-Sağlığın bir alt kümesidir. Bu, mobilitenin teknik doğasını, kablosuz bağlantıyı ve giyilebilir tıbbi cihazları olduğu kadar,

sağlık hizmetlerinin tutarlı entegrasyonunu, mekan bağımsızlığını ve zamanında müdahaleyi de içerir. KVAA'lar, gerçek zamanlı sağlık izleme, hastalık yönetimi, acil durumlar ve kişisel sağlık hizmetleri için diğer birçok uygulama için sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kabul gören araçlar haline gelmiş m-Sağlık sistemlerinin temel yapı taşlarıdır [12].

KAA'ların tıbbi uygulamaları, özellikle yaşlılar, çocuklar ve kronik hastalar için mevcut sağlık hizmetleri ve izleme hizmetlerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu sistemlerin aşağıda özetlendiği gibi birçok faydaları vardır [3]:

- (i) Herhangi bir mekansal kısıt olmaksızın uzaktan ve gerçek zamanlı hasta gözetimi;
- (ii) İnsan odaklı sağlık hizmetleri; hasta konforu, sağlık personeline ve hasta ailelerine ya da bakıcılarına yardımcı olacak yüksek kaliteli sağlık ve bakım hizmetleri;
- (iii) Acil durumların gerçek zamanlı tanımlanması (örneğin, kalp krizi veya ani düşme) ve yaygın sağlık hizmetleri sistemlerinden faydalanan risk altındaki hastalar için harekete geçme;
- (iv) Sağlık hizmetleri maliyetlerinin azaltılması,
- (v) Birçok sıradan kullanıcı için uygun fiyatlı yaygın sağlık hizmeti sistemlerinin mevcudiyeti,
- (vi) Alışılmadık durumların tanımlanmasına ve durumlar hakkında daha kesin çıkarımlar yapmaya yardımcı olan, sürekli izlenecek insanların durumlarını ve çevrelerini anlamak için ortam farkındalığı (context-awareness).

Sonuç olarak, KAA'lar kesinlikle sağlık hizmetlerinin geliştirilmesi için bize birçok fırsat sunmaktadır; ancak, herşeyden önce insan güvenliğini sağlayacak bu sistemlerin gerçek uygulamalar için pratik hale geldiğini görmemiz için, güvenilirliği, hizmet kalitesini, enerji

performansını, vb. sağlamak adına daha birçok optimizasyonlar yapılmalıdır [4].

3. KAA TASARIMINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR VE GEREKSİNİMLER (IMPORTANT REQUIREMENTS in WSN DESIGN)

KAA'ların getirdiği kısıtlamalar ışığında, dağıtımlı sağlık hizmetlerinin yararlarını tartışmanın yanı sıra, bu tür sistemlerin daha pratik, dayanıklı ve yaygın olabilmesi için karşılanması gereken gereksinimleri de göz önünde bulundurmalıyız. Tıbbi verilerin gizliliği, güvenliği ve güvenilirliği büyük önem taşımaktadır ki iletişim ortamının kablosuz doğası nedeniyle henüz çok hassastır. Ayrıca, kablosuz algılayıcıların aşırı enerji sınırlılığı akıllı güç yönetimini gerektirir [13].

KAA tabanlı sağlık hizmetleri sistemlerinin gereksinimleri aşağıdakileri içermektedir:

- (i) *Güvenlik (Security)*: Sistem fonksiyonlarına izinsiz erişimin ya da manipülasyonun ciddi sonuçları olabilir. Kullanıcı kimlik doğrulama ve veri şifreleme gibi güvenlik önlemleri hasta verilerinin gizliliğini ve bütünlüğünü korumak için alınmalıdır ve KAA'ların kaynaklarının kısıtlı olması sebebiyle bu güvenlik önlemlerinin hesaplama, iletişim ve bellek maliyetleri düşük olmalıdır. Sağlıkla ilgili veri iletişimi için diğer güvenlik gereksinimleri veri doğruluğu (data authenticity) ve veri güncelliği (data freshness) [14, 15].
- (ii) *Gizlilik (Privacy)*: Hastaların verileri gizlilik ilkelerine tabi tutulduğundan, kişisel bilgilerin gizliliği bu sistemlerde artan bir endişe haline gelmektedir. Kullanıcının gizliliğinin korunması hem teknik (örneğin; göze çarpmayan yerleştirme) hem de teknik olmayan (örneğin; şifreleme mekanizmaları) çözümler gerektirir [14].
- (iii) *Güvenilirlik (Reliability)*: Sistem, güvenilir veri ölçümünü, güvenilir veri iletişimini ve güvenilir veri analizini sağlamalıdır. Ayrıca, hatalı sistem bileşenleri ve istisnalar sistem aksaklığına neden olmamalıdır [3].
- (iv) *Emniyet (Safety)*: Giyilebilir ve implante edilebilir algılayıcı cihazlar hastanın zarar görmesini önlemesi için biyoyumlu ve dikkat çekmeyen bir biçimde olmalıdır. Kritik güvenli uygulamalar durumunda, sistemin çalışması hataya dayanıklı olmalıdır. Ayrıca, implante edilebilir algılayıcı düğümler arasındaki kablosuz iletişim, ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir, çünkü düğümler tarafından üretilen ısı ciddi şekilde çevresindeki dokulara zarar verebilir (özellikle kronik implantasyon durumunda), belirli zararlı bakterilerin gelişmesini sağlayabilir ve aynı zamanda vücut hücrelerinin içindeki enzimatik reaksiyonları etkileyebilir [14].
- (v) *Enerji verimliliği (Energy efficiency)*: Bu sistemlerin, ve özellikle implante cihazların, ömürleri çok önemlidir. Güç kaynağını değiştirme veya şarj ihtiyacı bir maliyete ve istenmeyen

zorluklara neden olur. Ciddi enerji sınırlılığı, kablosuz algılayıcı teknolojisi için en önemli sorunlardan biri olduğu için, vücut algılayıcı düğümler için kendi güçlerinin yaratımını mümkün kılmak mükemmel bir çözüm olacaktır. Örneğin, düğümler floresan ışıklarından, güneş ışınlarından veya hastanın hareket titreşimlerinden enerji toplayabilir [15].

- (vi) *Uyumluluk (Compatibility)*: Düğümlerin diğer düğümlerle, ağlarla ve elektronik sağlık kayıt sistemleri ile birlikte çalışması gerekir, bu nedenle iletişim protokollerinin ve veri depolama biçimlerinin standardizasyonu gereklidir [14].
- (vii) *Kullanım kolaylığı (Ease of use)*: Giyilebilir düğümler, küçük, göze batmayan, ergonomik, giyilmesi kolay, sayıca az ve hatta şık olmalıdır. Vücut üstü ve vücut dışında kullanıcı arayüzleri, içgüdüsel kontrolleri ve bilgi sunumunu gerektirir [14].
- (viii) *Değer (Value)*: Algılanan değer, birçok faktöre bağlı olabilir ama genelde, KAA tabanlı sağlık hizmetleri sistemleri kullanıcıların hayat kalitesini artırması gerekir [14].
- (ix) *Ortam farkındalığı (Context-awareness)*: Ortam farkındalığı, Dey ve Abowd [16]'te, "uygunluğun kullanıcının amacına bağlı olarak, kullanıcıya ilgili bilgi ve / veya hizmeti sağlanması" olarak tanımlanır ve akıllı ev uygulamaları ve uzaktan sağlık izleme uygulamaları için gereklidir. Örneğin ortam farkındalığı, farklı algılama yöntemlerini ve verinin semantik gösterimini birleştirerek sağlanabilir [3].
- (x) *Kullanılabilirlik (Usability)*: KVAA tabanlı sistemler kendi kendini otomatik yapılandırma ve bakım yeteneğine sahip olmalıdır, çünkü çoğu durumda mühendisler tarafından değil sağlık personeli tarafından kurulacaktır. Yeni düğümlerin ve cihazların otomatik eklenmeleri desteklenmelidir [15].
- (xi) *Erişim kontrolü (Access control)*: Erişim kontrolü ile sadece yetkili tarafların yetkili verilere erişimini sağlamak için hastaların bilgilerine kimin erişim yetkisi olup olmadığı kontrol edilmektedir [17].
- (xii) *Gizlilik ve Bütünlük (Confidentiality and Integrity)*: Gizlilik, sistemin sadece uygun yetkili kişilerce görüntülenebilmesini sağlar, bütünlük ise sistemde yapılabilecek gayri meşru değişikliklerin sonraki kullanıcılar tarafından tespit edilebilmesini sağlar. Bütünlük gerekliliği kritik öneme sahiptir, çünkü sistemde gayri meşru olarak yapılmış bir değişiklik (kötü niyetle veya yanlışlıkla) hayatı tehdit edebilecek sonuçlara neden olabilir [17].
- (xiii) *Sorumluluk (Accountability)*: kaynağın tespit edilebilmesini (traceability) ve inkâr edilemezliği (non-repudiation) kapsayan sorumluluk, işleyiş bozukluğu olan tarafın tanımlanması ve izinin

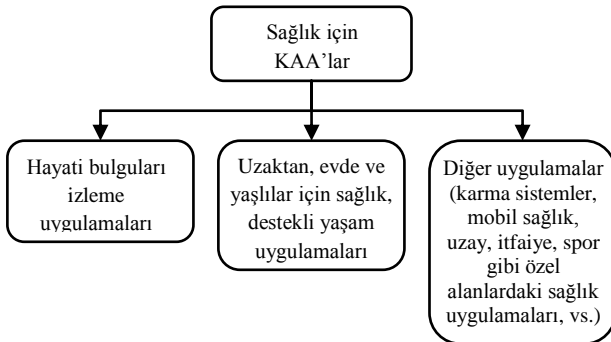
sürülebilmesi imkanını ve daha sonra o tarafın sorumlu tutulmasını sağlar [17].

(xiv) *Kullanılabilirlik (Availability)*: Hizmeti engelleme saldırısı (DoS) saldırılarının olması durumunda bile sistem servisleri ve hasta verileri her zaman kullanılabilir durumda olmalıdır [5].

(xv) *İptal edilebilirlik (Revocability)*: Sistem kullanıcılarının veya düğümlerin ayrıcalığı, eğer tehlikeli olarak tespit edilirse veya kötü amaçlı olurlarsa zamanında iptal edilebilmelidirler [5].

4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORK)

KAA teknolojisinin sağlık alanında pek çok avantajı sağladığından, bugüne kadar bu alanda birçok araştırma yapılmış, birçok sistem ve sistem prototipi tasarlanmıştır. Bu çalışmaları, birbirinden bağımsız olan kategorilere göre sınıflandırmak imkansızdır, çünkü araştırmacıların ve sistem tasarımcılarının çoğu tasarladıkları sistemlerinin olabildiği kadar geniş bir kapsamda uygulamalarını hedeflemektedirler (özel alanlar için tasarlanan sistemler hariç). Örneğin, yaşamsal bulguları takip eden bir sistemin, sadece uzaktan sağlık gözetimi için değil, aynı zamanda evde destekli yaşamı da sağlamak gibi daha geniş bir amaçla da kullanılabilirliği, o sistemin hem verimliliğini hem de değerini artıracaktır. Bu çalışmada, mevcut uygulamalar kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu amaçlar, genel olarak hayati bulguları izleme, uzaktan, evde ve yaşlılar için sağlık hizmetleri, destekli yaşam ve diğer özel alanlardaki uygulamalar olarak ayırt edilmiştir (Bkz. Şekil 6).



Şekil 6. Sağlık hizmetleri sektöründe KAA'lar (Healthcare WSNs)

Bu bölümde, örnek vermek amacıyla, her kategori için önemli olan veya ilgi çeken birkaç çalışma kısaca anlatılmaktadır.

4.1. Hayati Bulguları İzleme (Vital Sign Monitoring)

Volmer ve Orglmeister (2008) profilaksi ve kalp-damar hastalıkları rehabilitasyonu uygulamaları için kullanılabilen, EKG, fotoplethysmogram (photoplethysmogram PPG) ve fonokardiografi (phonocardiography PCG) ölçümlerini yapabilen

minyatür algılayıcı modüllerden oluşan bir KVAA sundu. Hastanın duruş ve faaliyet ölçümleri için, her bir algılayıcı modülü, bir üç-eksenli ivme ölçer ile birleştirilmiştir. Önerilen sistem, sürekli ve olay tabanlı hayati bulguların ve biyosinyallerin güvenli, senkronizeli ve düşük güçlü kablosuz iletimine odaklanmaktadır [18].

Gu ve ark. (2009) geceleri yatakta, arteriyel kan basıncının kolluksuz ve sürekli tahmini için yeni bir temassız sistem önerdi. Deney sonuçları göstermiştir ki, aynı pozisyonda ölçüldüğünde temassız sisteminin doğruluğu temaslı sistemlerinki ile kıyaslanabilir. Sonuçlar, aynı zamanda, kolluksuz yaklaşımla hastanın sırtından elde edilen EKG ve PPG kalitesi, kan basıncı ölçümü için sağlam bir nabız varış zamanı tahmin etmek için genellikle yeterli olduğunu göstermiştir [19].

Hui (2010), kalp atış hızı izleme için, EKG ve ivme ölçer modüllerinden oluşan, senkronize edilmiş, akıllı ve gerçek zamanlı tıbbi bir KAA önerdi. Hasta ayakta dururken, yürürken, koşarken ve futbol oynarken verilerin işlenmesi ve sürekli kalp durumunu izlemek için stokastik rezonans yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen KAA sisteminin, büyük ölçekli insan sağlığı tahmini için etkin bir çözüm olan çeşitli eylem durumlarında insanların izlenmesini sağlayabileceğini göstermiştir [20].

Zhang ve ark. (2011) KVAA'larda gerçek zamanlı kalp sağlığı izleme için kullanılabilen kablosuz ve ultra-düşük güç tüketimli bir EKG plastersi sundu. Ağırlığı sadece 25 gramdır ve giyilebilirdir ve daha fazla analiz için hastanın EKG sinyalini bir uzaktan izleme istasyonuna kablosuz olarak iletebilir. Prototip, klinik çalışmalarda doğrulanmıştır [21].

Vijayalakshmi ve Kumar (2012) çok daha iyi bir mesafe elde etmek ve omurga ağına bağlanmak için gerekli olan kablolu miktarını azaltmak için kablosuz algılayıcı tabanlı Mesh Ağları kullanarak (KAA ve Kablosuz Mesh Ağ teknolojilerinin kombinasyonu) sürekli bir sağlık izleme sistemi uyguladı. Onların sistemi, birçok koşuştan oluşan tüm hastaneyi kapsayacak şekilde genişletilebilir. Sistem, hastaya bakmak için herhangi bir kişiye ihtiyaç olmaksızın ve hastanın sağlık durumu hakkında sağlık personeline haber vererek, otomatik olarak hastanın vücut sıcaklığını, kalp atışını ve kan basıncını izleyebilir [22].

Islam ve ark. (2012) KAA kullanan, devamlı, invaziv olmayan, manşetsiz kan basıncı, nabız hızı ve vücut ısısı izleme sistemini önerdi. Sistemin, sürekli çalıştığı sürece insan vücudu üzerinde herhangi bir zararlı etkisi yoktur ve herhangi bir hayati bulgu standart aralığını aştığında alarm gönderebilir. Sistemin doğruluğu mevcut geleneksel sistemlerin sonuçları ile karşılaştırılarak, kabul edilebilir bir aralıkta bulunmuştur. Genel olarak sistem, güvenilir, doğru, taşınabilir, güvenli, kullanıcı dostu ve düşük maliyetlidir [23].

4.2. Uzaktan, Ev ve Yaşlılar İçin Sağlık Hizmetleri, Destekli Yaşam (Elderly and Home Remote Healthcare)

Falck ve ark. (2006) evde bakım ortamlarında kronik hastaların sağlıklarını izlemeyi sağlayan, KVAA'lar için etkin enerji kullanımını ve çip-üzeri-sistem platformunu geliştirme ile ilgili bir proje olan BASUMA'yı sundular. BASUMA'nın ilk uygulama alanları, kronik obstrüktif akciğer hastalığı hastaların tedavilerini geliştirmeyi ve meme kanseri hastası kadınların ayakta kemoterapi tedavilerini geliştirmeyi içermektedir [24].

Leijdekkers ve ark. (2007) akıllı telefonları, kablosuz algılayıcılarını, web sunucularını ve IP kameralarını kullanan uzaktan sağlık izleme için kişiselleştirilmiş akıllı ev bakım sisteminin bir prototipini geliştirdi. Sistem yaşlıların yaşam kalitesini artırmak için, evde ve civarda dolaşırken sağlık durumlarını gözetlemelerine olanak vermektedir. Bu özellikle düşmeye meyilli olan ve/veya fazla kilosu olan kişilere 7/24 özel sağlık izleme sistemi sağlar. Sistemin, aynı zamanda, acil durumlarda otomatik olarak dışarıdan yardım araması için dahili acil durum ve konum tespit etme fonksiyonları vardır [25].

Baker ve ark. (2007) evde sağlık bakım için KAA teknolojilerinin kullanımını gösteren çeşitli prototipleri geliştirdi: (i) *SleepSafe (Güvenli Uyku)* – ani bebek ölümü sendromu riskini artıran karında uykuyu tespit etmek için geliştirilmiş, bebeğin uyku pozisyonunu tespit eden basit bir prototiptir. Prototip iki algılayıcı ağ düğümlerinden oluşur: bir düğüm bebeğin giysilerine bağlı iken diğer düğüm algılayıcı değerlerini almak ve işlemek için kablosuz Bİ gibi çalışır.; (ii) *Baby Glove (Bebek Eldiveni)* - entegre sağlık izleme cihazıdır. Cihazın sarmalanmış tasarımı bebek gelişimi için önemli üç ana sağlık konusu olan ısılarını, hidrasyonunu ve nabızlarını izleyen stratejik olarak yerleştirilmiş algılayıcılarla bebeklerin güvenliğini sağlamada rahat bir yöntem sağlar; (iii) *FireLine (Yangın Hattı)* - itfaiyecilerinin sağlıklarını gerçek zamanlı izleme yoluyla strese bağlı ölümleri ve yaralanmaları azaltmak için kullanılabilen bir kablosuz kalp atış hızı algılama sistemidir. Cihaz, bir kablosuz algılayıcı cihazı (Tmote), özel yapılmış kalp atış hızı algılayıcısı devre kartı ve üç adet yeniden kullanılabilir elektrot içerir. Tüm bileşenler kullanıcının koruyucu giysisi ve ekipmanı altına giyilen bir yangın geciktirici gömleğe entegre edilmiştir; (iv) *Heart@Home (Evde Kalp)* - çekirdek teknolojisi olarak bir KAA kullanan tansiyon ve izleme sistemidir; ve (v) *LISTSENse* - işitme engellilere kendi ortamlarındaki kapı zili, yangın alarmı, çocuk ağlaması gibi kritik sesli bilgileri algılama yeteneğini sağlayarak duymalarında yardımcı olan bir prototiptir. En az iki KAA düğümünden oluşur: düğümlerden biri (Bİ) kullanıcı tarafından belinde, kemerinde, vb yerlerde taşınır ve diğer düğümler (vericiler) duyulması istenen her bir ses kaynağının yakınına yerleştirilir [26].

Wood ve ark. (2008) mekan sakinlerinin bireysel hayat kalıplarına uygun ortam farkındalığı içeren protokollerini

etkinleştirmek için verilerin iki yönlü bir akımını ve ön ve arka uçlar arasında analizi kullanan uzun vadeli sağlık izleme ve destekli-yaşam için yeni bir KAA sistemi olan AlarmNet'i sundu. AlarmNet genişletilebilir ve çeşitli algılayıcı kümelerini (ör. çevresel, fizyolojik ve faaliyet), güç ve gizlilik politikalarını, ve kullanıcı arayüzlerini destekler [13].

Ince ve ark. (2008) travmatik beyin yaralanmasına bağlı bilişsel bozukluğu olan hastalara yardımcı olmak için esnek, düşük maliyetli, kablosuz ev içi faaliyet izleme sistemini tanıttı. Sistem, sabit ev algılayıcıları ile hastanın yerini bulur ve günlük yaşamda giyilebilir kablosuz ivmeölçer ile sabah banyo faaliyetlerini sınıflandırır [27].

Özdemir (2008), heterojen cihazları, hastanın üzerindeki bazı giyilebilir algılayıcıları (nabız oksimetresi) ve hastanın yaşam alanına yerleştirilmiş bazı algılayıcı düğümlerini entegre eden, bağımsız yaşayan yaşlı hastaların sürekli izlenmesi için uzaktan sağlık izleme KVAA sistem prototipini geliştirdi. Hastanın verileri KAA üzerinden iletilir ve uzaktaki bir PDA olan Bİ'da görüntülenir [28].

Baek ve ark. (2013) ivmeölçer, cayroskop ve düşme algılama ve hızlı müdahale için duruş sınıflandırmasını kullanan basit bir algoritmadan oluşan rahat bir kolye şeklinde tasarlanmış algılayıcı düğümü önerdi. Bu algılayıcı, yaşlı insanların veya hastaların ev, ofis, tuvalet ve diğer yerler gibi yardım alamayacakları kişisel ortamlarında fiziksel durumlarını gözlemlemek için uygulanabilir [29].

4.3. Diğer Uygulamalar (Other Applications)

Montgomery ve ark. (2004) NASA, Ames Araştırma Merkezi ve Stanford Üniversitesi tarafından geliştirilen giyilebilir fizyolojik izleme sistemi olan LifeGuard'ı (Cankurtaran) sundular. LifeGuard astronotların uzay yolculukları ve araç dışındaki faaliyetleri sırasında güvenliklerini sağlamak ve egzersiz rutinleri sırasında fizyolojilerini izlemek için geliştirilmiştir, ama aynı zamanda ilk müdahale, askeri uygulamalar, klinik ve ev içi sağlık izlemede de uygulanabilir. Bu cihaz, 3 eksenli ivmenin yanı sıra kalp atış hızı, nabız oksimetresi, EKG, kan basıncı, vücut ısısı ve vücut pozisyonunu içeren yaşamsal parametrelerinin uzaktan kablosuz olarak elde edilebilmesine izin verir [30].

Malan ve ark. (2004), düşük güç tüketimi, kablosuz hayati bulgu algılayıcıları, PDA'lar ve PC-sınıf sistemlerini entegre eden, ve acil tıbbi bakım kuruluşu için tasarlanmış olan CodeBlue adında kablosuz bir altyapıyı tanıttı. CodeBlue, olay yerinde hasta değerlendirmelerinde ilk müdahale ekiplerinin yeteneklerini geliştirmek, bakıcılar arasında sorunsuz veri transferini sağlamak, ve hastane kaynaklarının etkin tahsisini kolaylaştırmak amacıyla, çok yoğun ağlara ölçeklendirilmek ve son

derece değişken ağ koşulları altında faaliyet göstermek için tasarlanmıştır [31].

Sung ve ark. (2005) gerçek zamanlı veri akışı ve ortam farkındalığı ile uzun süreli ayakta tedavi ve sağlık izlenmesi için tasarlanmış esnek bir giyilebilir platform olan LiveNet'i sundu. LiveNet zaman içinde kullanıcının kişiselleştirilmiş, veri açısından zengin sağlık profilini geliştirmek için kullanıcının faaliyetlerini ve ortamı ile birlikte sürekli olarak fizyolojik sinyallerinin de geniş bir dizisini izleyebilir. Kritik asker izleme, parkinson hastalığı izleme, epilepsi nöbet algılama, genel faaliyet sınıflandırması, depresyon terapisi eğilimi, sosyal katılımın ölçülmesi, uzun vadeli davranış modelleme ve rehabilitasyon için eğilim dahil olmak üzere çeşitli klinik çalışmalarında LiveNet sistemini kullanan birçok sağlık izleme uygulamaları vardır [32].

Iso-Ketola ve ark. (2008) kalça protezi operasyonu sonrası iyileşen hastalar için giyilebilir KVAA tabanlı ölçüm sistemi olan HipGuard'ı (Kalça Koruyucu) sundu. Sistem, hastanın duruşunu ölçer ve ayrıca operasyon yapılan bacağa yüklenen ağırlığı takip eder. Ölçüm sistemi, kalça ve bacakların oryantasyonunu ölçmek için yedi kablosuz duruş algılayıcı düğümünden ve operasyon yapılan bacağa yüklenen ağırlığı ölçmek için kablosuz yük algılayıcı düğümünden oluşur. Eğer operasyon yapılan kalçanın pozisyonu veya operasyon yapılan kalçaya yüklenen ağırlık set limitlerine yaklaşırsa, hasta bir ses sinyali veya dokunsal titreşim ile uyarılır [33].

Borges ve ark. (2009), giyilebilir izleme kemerine (Flex Sensor Belt - Esnek Algılayıcı Kemer) takılı birkaç esnek algılayıcılardan oluşan ve hamile bir kadın için fetal sağlık ve hareketleri izlemeyi sağlayan bir KKA prototipini sundu. Amaç, düşük riskli gebeliklerin uzaktan izlenmesini sağlayacak bir teletıp sistemi oluşturmaktır. Fetal hareket, algılayıcıların bükülmelerine dayalı olarak algılanmaktadır ve toplanan veriler gerekirse geniş bir kitle için Wi-Fi iletiminde mümkün iken, IEEE 802.15.4 ağ üzerinden Kaynakların Merkezi Yönetimine iletilir [34].

Cheong ve ark. (2012) vasküler graft için indüktif güçle çalışan, implante edilebilir kan akışı algılayıcısı mikrosistemini sundu. Protez vasküler graft, damar cerrahisinde alt ekstremitte iskemisi için bir baypas, veya böbrek yetmezliğinde hemodiyaliz için bir kanal kapsamında sıklıkla kullanılır. Protez vasküler graft içinde kan akış hızı izleme, zamanında müdahalenin ve graft yetmezliğinin önlenmesiyle graft bozulmasının erken algılanmasını sağlar [35].

5. ZORLUKLAR VE AÇIK ARAŞTIRMA SORUNLARI (CHALLENGES AND OPEN RESEARCH DIRECTIONS)

Sınırlı kaynaklar ve kablosuz iletişim gibi KAA'larda bulunan genel kısıtlamalar ve sorunların haricinde, sağlık

uygulamalarına özgü bazı zorluklar da mevcuttur. Bu bölüm, KAA tabanlı sağlık hizmeti sistemlerinin tasarımındaki sorunlara genel bir bakış sunmaktadır.

5.1. Donanım Zorlukları (Hardware Challenges)

Donanım düzeyi zorlukları şunlardır:

- (i) *Sınırlı kaynaklar* – Makul pil ömürleri ile küçük boyutlarda cihazların sağlamak için tipik kablosuz algılayıcı düğümleri, sınırlı kaynaklarla düşük güçlü bileşenleri kullanmaktadır. Bu sınırlamalar, son derece sınırlı güç (en ciddi kısıtlama), işleme yetenekleri, bellek, arabellek ve aktarım gücünü içerir. Son derece sınırlı kaynaklar, sistem tasarımı için bir dizi sorunlara yol açmaktadır. Örneğin, yazılım dikkatle tasarlanmış olmalıdır; sınırlı bellek yalın, olay odaklı ve eş zamanlılık modellerin kullanımını gerektirir, ve geleneksel işletim sistem tasarımlarını önler; ve ayrıca pil ömrününün uzatılması amacıyla, radyo iletişimini ve veri işlemeyi sınırlandırmak için uygulama kodu son derece dikkatli bir şekilde yazılmalıdır [36, 37].
- (ii) *Dikkat Çekmemelik ve Giyilebilirlik (Unobtrusiveness and Wearability)* – Küçük boyutlu ve hafif, giyilebilir tıbbi algılayıcılar ve cihazların tasarımı ve geliştirilmesi önemli bir sorun ortaya çıkarıyor. Sağlık izleme sistemleri hastalar tarafından kolayca giyilmesi veya vücutlarına takılması için invaziv olmayan ve göze çarpmayan şekilde olmalıdır. Farklı algılayıcıların tek bir sisteme entegre edilmesi daha da zordur. Tıbbi algılayıcıların giyilebilirliği esas olarak entegre devrelerdeki ve pil teknolojisindeki gelişmelere bağlıdır, ama aynı zamanda enerji verimli algoritmalar ile de geliştirilebilirler [3, 28].
- (iii) *Duyarlılık ve Ayarlama* – vücut algılayıcı ve algılayıcı cihazları hassasiyeti buldukları ortamlardan etkilenebilirler. Örneğin ter, duyarlılığın azalmasına veya algılayıcıların kalibrasyonunun gerekliliğine neden olabilecek vücut algılayıcı cihazlarının dönüştürücülerini etkileyebilir. Son derece hassas hayati bulguları izleme algılayıcıları ve sistemleri elde etmek için kendi kendine kalibrasyon ve duyarlılık geliştirme algoritmalarına ihtiyaç vardır [3].
- (iv) *Veri Toplama Verimliliği* – Algılayıcı tabanlı yaygın sağlık hizmeti sistemlerinin yüksek veri toplama oranları vardır ve bu verimli veri işleme tekniklerini gerektirir. Birden fazla algılayıcıların entegrasyonu durumunda bu oranlar daha da artmaktadır. Fizyolojik veri, gerçek zamanlı olarak elde edilmeli ve analiz edilmelidir. Bu, zaman damgası ve olayların sıralanması, farklı algılayıcıların senkronizasyonu ve modüler mimarinin gelişimini içeren birçok açık araştırma problemlerine neden olmaktadır [3, 6]. Ayrıca, ilgili verileri almak için tıbbi algılayıcıların büyük miktarlarda veri işlemesi algılayıcıların kullanım

ömrü uzatabilir, çünkü veri iletişimi bir düğümün toplam enerji tüketiminin %70'ini kullanır [28].

5.2. Fiziksel Katman Zorlukları (Physical Layer Challenges)

Fiziksel katman sorunları şunları içermektedir:

- (i) *Hata Esnekliği (Error Resilience)* – Daha yüksek bit hata oranlarına neden olan Azaltılmış Sinyal-Gürültü Oranı (Reduced Signal-to-Noise Ratios (SNR)) kablosuz algılayıcı cihazlarda düşük iletim gücü ve küçük anten boyutları nedeniyle mevcuttur. Tıbbi veriler hayati öneme sahiptir; bu yüzden ağ iletimi hatalar karşısında esnek olmalıdır [3].
- (ii) *Güvenilirlik (Reliability)* – KAA'larda güvenilir veri iletimi, KAA tabanlı sağlık sistemlerinin benimsenmesi ve dağıtımındaki temel sorunlardan biridir, çünkü bu sistemler güvenilir sayılacak çok sayıda kaynaklara maruz kalmaktadır (örneğin, enerji azalması nedeniyle kalıcı veya geçici hatalar, kanal karışması, çok yollu sönümlenme, gürültünün neden olduğu geçici hatalar, vb.). Buna ek olarak, tıbbi verilerin kritik güvenilirliği veri iletimini daha da önemli hale getirmektedir. Veri kümeleme gibi veri işleme teknikleri, iletişim güvenilirliğini artırmak için kullanılabilir [28].
- (iii) *Bant Genişliği (Bandwidth)* – Bir başka önemli sorun ise veri iletişimi için kullanılabilir kablosuz kanalın sınırlı bant genişliğidir (özellikle KVAA'lar için) çünkü enerji tüketimini azaltmak gerçek mevcut bant genişliğini azaltmaktadır. Bu, kaynak sınırlı algılayıcı düğümleri üzerinde çalışabilen, (özellikle mevcut tıbbi verilerinin büyük miktarda iletimi gerekli olduğunda) etkili ve hafif sıkıştırma algoritmalarını gerektirir [3, 36].
- (iv) *Birlikte Çalışabilirlik (Interoperability)* – Farklı frekanslarda çalışan heterojen algılama cihazların entegrasyonu bir birlikte çalışabilirlik sorununu doğurabilir, çünkü farklı bantları ve protokolleri kullanabilirler. Farklı cihazlar arasında girişimle sonuçlanabilecek, ruhsatsız sanayi, bilimsel ve tıbbi (Industrial, Scientific and Medical (ISM)) radyo bantları çok kalabalık hale gelmektedir. Farklı cihazlar arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak ve aralarındaki benzersiz ilişkileri desteklemek için yaygın sağlık sistemleri tasarlanmalıdır [6].

5.3. MAC Katmanı Zorlukları (MAC Layer Challenges)

MAC (ortam erişim kontrolü) katmanı sorunlar şunları içerir:

- (i) *Enerji Yönetimi* - Her ne kadar enerji tasarrufu her yazılım katmanında önemli bir husus olsa da, bölüm 5.1'de belirtildiği gibi radyonun enerji tüketimi sebebiyle, iletişim enerjisi kullanan en alakadar kaynaktır. Periyodik olarak şarj mümkündür ancak bu sistemin enerji kontrol maliyetini arttırmaktadır. Özellikle KAA'larda etkili iletişim için tasarlanmış olan MAC protokolleri gereklidir. Önerilen

protokoller çoğu zaman radyonun kapalı tutulması fikrini baz almaktadır [38].

- (ii) *Gecikme (Delay) optimizasyonu ve acil durum veri önceliklendirme* – Herhangi bir KAA'da enerji verimliliği normal bir MAC katmanı sorunu olsa da, KAA'ların sağlık izleme uygulamaları söz konusu olduğunda, acil durum trafiğinin hizmet kalitesi gereksinimlerinin de dikkate alınması gerekir. Periyodik fizyolojik veri raporlamaya ek olarak, sağlık izleme uygulamaları, makul bir gecikme ile iletilecek acil olay raporlamayı da gerektirir. Gecikme optimizasyonu içeren MAC tasarımı, gerçek yaygın sağlık izleme uygulamaların gerek duyduğu, algılayıcı düğümleri arasında çok atlamalı kablosuz iletişim için daha da önemli olacaktır. Ayrıca, acil durum veri önceliklendirme mekanizmaları geliştirilmelidir ve farklı acil durumlar arasında eşitlik sağlanmalıdır. Sağlık hizmeti açısından, düşük güçlü KAA'lar için hizmet kalitesi farkındalığı olan MAC protokolleri (802.15.4 gibi) çalışmalarının yanı sıra, KAA'ların sağlık hizmeti uygulamaları için de hala açık araştırma konuları vardır [3].
- (iii) *Ağ Dinamiği ve İstikrarsızlık (Instability)* - Ağ topolojisi, bağlantı hatası, elektrik kesintisi, düğüm hareketliliği, düğüm hatası ve yeni düğüm eklenmesinden dolayı sık sık değişebilir. Eğer sistem hataya dayanıklı olarak tasarlanmamışsa ve dinamiklerdeki değişikliklere uyum sağlayamazsa, bu durum acil durum veri transferlerinde yıkıcı sonuçlara neden olabilir [36].

5.4. Ağ Katmanı Zorlukları (Network Layer Challenges)

Sağlık izleme sistemlerinde KAA uygulamaları için en önemli ağ katmanı zorlukları gecikme optimizasyonu ve enerji bilinçli yönlendirme protokolleridir. Bİ'na daha yakın olan düğümlerde KAA trafiğinin yakınsak doğası nedeniyle tıkama etkisi olabilir, bu sebepten yük dengeleyici yönlendirme protokolleri gereklidir. Diğer önemli zorluklar, özellikle veri sıkıştırmanın daha iyi verimlilik için gerekli olduğu multimedya trafiği durumlarında tıkanıklık önleme ve hız kontrolüdür [3].

BKAA ve KVAA'larda implante edilebilir ya da giyilebilir algılayıcı düğümleri aşırı ısınırlarsa doku hasarına neden olabilirler, bu yüzden gecikme performansını düşürmeyen termal bilinçli yönlendirme protokolleri çok önemlidir. Başka bir açık araştırma konusu ise tıbbi KAA'lar için çok yollu yönlendirme protokolleridir [3].

5.5. Aktarım Katmanı Zorlukları (Transport Layer Challenges)

KAA sağlık hizmeti uygulamalarında izleme ve veri dağıtımını güvenilirliği önemli bir sorundur, çünkü tıbbi verilerin iletiminin kritik hayati yansımaları olabilir (örneğin; tek bir kare veya paket kaybetme kritik

durumun tamamen yanlış anlaşılmasıyla sonuçlanabilir). MAC katmanı belirli güvenilirlik mekanizmaları sunmaktadır (örneğin; otomatik tekrar isteği (ARQ)); bununla birlikte, sağlık izleme sistemleri toplam uçtan uca güvenilirlik gerektirir. Ayrıca, farklı uygulamalar farklı çözümler gerektirebilir. Örneğin, periyodik trafik, (EKG ve kalp atış hızı gibi periyodik fizyolojik verileri raporlama) paket seviyesi güvenilirliğini gerektirirken, acil durum olay raporlama, olay seviyesi güvenilirliğini gerektirir, çünkü her bir paketin güvenilir bir şekilde dağıtılması gereklidir. Bu konuyu ele alan aktarım protokolleri hala açık araştırma zorluklarındadır. Bunlara ek olarak, aktarım katmanı için, güvenilir dağıtımın sağlanması, yoğunluk ve akış kontrol mekanizmaları için çapraz katman protokolleri alanlarında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [3, 38, 37].

5.6. Uygulama Katmanı Zorlukları (Application Layer Challenges)

Bölüm 3'te bahsedilen sorunlardan bazılarını ek olarak, dikkat edilmesi gereken diğer önemli uygulama katmanı zorlukları vardır. Anlamlı bilgi üretmek için uygulama katmanında veri düzenleme ve entegrasyonu karşılaşılan en zor sorunlardan biridir. Üst katman olan uygulama katmanının, ortam algılayıcı verileri, tıbbi verileri ve diğer bağlamsal veri organizasyonları gibi bir koordinasyon görevi olması beklenmektedir. Veri organizasyonu, hala açık bir araştırma konusudur. Kural tabanlı statik sistemlerinin yerine geçeceği öngörülen kendi kendine öğrenme yeteneği olan, otonom sağlam makine öğrenme algoritmaları, ve veri organizasyonu hala açık araştırma konularıdır [3, 38].

5.7. Diğer Zorluklar (Other Challenges)

Katmanlardan bağımsız olan diğer zorluklar şunlardır:

- (i) *Güvenlik (Security)* – önemli sorunlardan biri hasta verilerinin güvenliğidir [38]. Bölüm 3'te bahsedildiği gibi temel güvenlik gereksinimleri, gizlilik, veri bütünlüğü, hesap verme mecburiyeti, ulaşılabilirlik ve erişim kontrolünü içerir. Bu gereksinimleri sağlamak zordur çünkü bunlar şifreleme yöntemlerinin kullanımı ve etkin anahtar yönetimi protokollerinin geliştirilmesini gerektirir [3]. Ciddi kaynak sınırlamaları ve kablosuz iletişimin güvenilir olmayan doğasından dolayı güvenlik saldırıları sorunu, KAA platformlarının hassas doğası gereği şiddetlenir. KAA'ların güvenlik açıkları saldırganlar için içeriği tahrif etmeyi, erişim hakları değiştirmeyi, DoS saldırıları oluşturmayı ve genellikle sistemin çalışmasını bozmayı mümkün kılar. Bu da, örneğin, tedavi reddine yada daha da kötüsü, hastaya yanlış tedavi uygulamaya neden olabilir. Bu yüzden bu sınırlı koşullar altında çalışabilecek yeni hafif güvenlik çözümlerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu alandaki güncel araştırmalar, birçok KAA

sistemlerinde bulunan fazlalıklara (redundancy) odaklanmaktadır. Amaç, tasarım ve geliştirme aşamalarında KAA'larda beklenmeyen saldırılar karşısında bile başarısızlıklara ve saldırılara dayanıklılık ve etkin kurtarmayı (efficient recovery) sağlamaktır [37]. Uzaktan sağlık izleme KAA sistemlerine özgü olan başka bir güvenlik sorunu ise, hastaların baygın olduklarında ortaya çıkar. Sistem şifrelerini tutmak bu durumlarda imkansız olabilir, bu yüzden hesap verebilirliği sağlamak için biyometrik yöntemlerin kullanılması gerekebilir. Buradaki zorluk, tanımlama amacıyla kullanılacak benzersiz biyometrik özellikleri bulmaktır [3].

- (ii) *Gizlilik (Privacy)* – Gizlilik ihlali için sağlık hizmetlerinde KAA'lar çeşitli fırsatlar yaratmaktadır, çünkü onlar bazen uzun boylumsal çalışmalarda kullanılan, hastaların günlük faaliyetlerini ve fizyolojik belirtilerini izlemek için kullanılmaktadır. Karşılaştığımız ilk gizlilik sorunu, gizliliğin belirsiz spesifikasyonudur. Sağlık hizmeti sistemleri aynı zamanda veri iletişimi için kullanıcıların isteklerini karşılamaları gerekir [37]. Kullanıcıların her türlü verileri üzerinde kontrol sahibi ve özyönetimi olmalıdır ve kullanıcı yetkilendirme göz ardı edilmemelidir. Gizlilik mekanizmaları özellikle görsel veri toplama ve işleme içeren uygulamalarda kullanıcı konforu için geliştirilmelidir [3].
- (iii) *Kullanım kolaylığı (User-friendliness)* – Farklı kullanıcı grupları bir sistemde farklı arayüzleri gerektirir; bu sebepten sistem farklı kullanıcılar için tam memnuniyeti sağlaması için tasarlanmalıdır, bu da zorlu bir işittir. Örneğin, zihinsel engelli hastalar, diyabetli hastalarla karşılaştırıldığında sistem ile farklı etkileşim özelliklerine sahiptir. Ayrıca, kullanıcı arayüzü yaşlılar ve engelli hastalar için ses, jest ve görsel animasyonlara dayanmalıdır ve özel beceri gerektiren her türlü şeyden kaçınması gerekir. Sağlık hizmetleri personelinin ve bakıcıların da hemen cevap verme yetenekli, kullanıcı dostu ve doğal kullanıcı arayüzleri olmalıdır. Onların arayüzleri, tıbbi verileri ilgi alanına özel bir şekilde göstermesi gerekir [3].
- (iv) *Uygulama Kolaylığı, Ölçeklenebilirlik ve Birlikte Çalışabilirlik (Ease-of-Deployment, Scalability and Interoperability)* – Kolay bir şekilde uygulanabilir sistemlerinin geliştirilmesi, bu sistemlerde çok çeşitli algılama cihazları ve yazılımın dahil olmasından dolayı başka bir basit olmayan sorundur. Dahası, kullanıcı sayısı (hem hasta ve hem sağlık hizmeti personeli) arttıkça uygulama kolaylığı ve ölçeklenebilirlik daha da önemli hale gelir. Çalışma anında yeni bileşenlerin eklenmesi de desteklenmelidir, böylece sistemleri değişen koşullara uyum sağlayabilir. Ayrıca donanım ve uygulama düzeyleri arasında entegrasyon ve birlikte

çalışabilirlik, dağıtılan hizmetler ile yazılım platformlarını gerektirir [3].

- (v) *Hareketlilik (Mobility)* – KAA tabanlı sağlık hizmeti sistemlerinin ortaya çıkışı kullanıcıların hareketliliğini teşvik eden ve sağlayan ubikuitöz (aynı anda birden fazla yerde olan) sağlık uygulamaların geliştirilmesi sağladı. Buradaki sorun, hareketliliği sağlamak için gerekli olan yer farkındalığı ile çoklu atlamalı, çok modlu algılayıcı ağlarının tasarımıdır [3].

5.8. Diğer Açık Araştırma Konuları (Other open research problems)

Tıbbi verilerin tutarsız açıklamaları diğer bir açık konudur. Şu anda anlamsal düzeyde tıbbi veri alışverişi ve ek açıklama için bir standart bulunmamaktadır. Tıbbi bilgi temsili için sağlık standartlarının benimsenmesi küresel olarak ele alınması gereken bir husustur. Buna ek olarak, tıbbi etik gibi diğer sorunlar da koruyucu bakımın etkin şekilde sağlanması için gereklidir [38]. Ayrıca vücut içinde ve üzerinde elektromanyetik dalgaların yayılması üzerine araştırmalar yapılmaktadır, ancak bugüne kadar önerilen çözümlerin hiçbiri ciddi bir şekilde sinyal gücünü etkilese bile vücut hareketlerini dikkate almamaktadır. Ayrıca, galvanik kuplaj (aynı zamanda vücut kuplajlı iletişim de denir) ve kemikler üzerinden biyoakustik veri transferi gibi insan vücudu üzerinden elektronik veri aktarımı için yeni gelişen teknolojiler umut verici sonuçlar sunmaktadır ve daha ayrıntılı olarak araştırılmaları gerekmektedir [15].

Başka bir açık araştırma alanı ise enerji hasatı kullanımınıdır. Bu özellikle sıkça değişiklik ihtiyacı ve hatta pil kullanma ihtiyacı olmadan algılayıcıların uzun vadeli operasyonları desteklemesi gerektiği KVAA'lar ve implante edilebilir algılama için önemlidir. Enerji hasat teknikleri (i) mekanik hareketleri elektrik enerjisine dönüştürmeyi (elektromanyetik, elektrostatik, piezoelektrik ve düşük frekanslı manyetik alanlar) içerir; (ii) enerji üretmek için iki farklı metal veya yarı iletkenler arasında termal gradyanları kullanmak; (iii) görünür, kızılötesi veya yapay olarak oluşturulmuş elektromanyetik radyasyon kaynaklarını (fotovoltaik, kızılötesi, endüktif bağlantılar ve radyo frekansı yaklaşımları) kullanarak EM radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştürme; ve (iv) biyokimyasal enerji - atomlar/moleküller arasındaki kimyasal bağı kırıp oluşturulan enerji (örneğin, proton değişimli membran yakıt hücreleri, membransız yakıt hücreleri ve glikoz yakıt hücreleri). Tüm bu tekniklerin hepsi vücudu enerji kaynağı olarak kullanmamaktadır. Ancak mekanik hareket kullanımı (vücut hareketi, kas germe ve vücut titreşimi gibi) ve termal gradyan vücut gücüyle enerji kaynağı olarak yaygın olarak keşfedilmiştir. Düşük enerji protokolleri ve enerji hasatının akıllı bir kombinasyonu ile bağımsız

KVAA'ların elde edilmesi için en iyi çözüm gerçekleştirilebilir [15].

KVAA'ların tıbbi uygulamalarına güç sağlamak için başka bir yeni yöntem ise witracity (kablolu elektrik) olarak adlandırılan bir kablolu enerji transferini içerir. İmplant edilebilir algılayıcılar durumunda güç problemi daha da ciddi bir problem haline gelir. Bu sebepten dolayı transkütan tellerin kullanımını veya ameliyat ile pil değiştirmeyi önlemek için implantlara vücudun dışından kablolu bir şekilde güç sağlamak son derece tercih edilen bir durumdur. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, witracity'nin KVAA'lara kablolu güç sağlamak için yüksek bir potansiyele sahip olduğunu kanıtlamışlardır [39].

KVAA'lar ile birlikte bir aktarım ağ kullanımı algılayıcı düğümlerinde enerji tüketim oranını azaltmak için önerilen bir yöntemdir. Bu yaklaşımda, çok atlamalı düzenlemesinde iletişimin çoğunluğu aktarım düğümleri tarafından gerçekleştirilir ve algılayıcı düğümleri aktarma olmadan sadece kısa aralıklar üzerinden iletim yapar, böylece normal tek yada çok atlamalı iletim ile karşılaştırıldığında, algılayıcıların kullanım ömrü önemli ölçüde artmaktadır. Açık araştırma konusu, aktarım ağları için gereksinimlerini ele alacağı uygun protokolü bulmaktır [40].

6. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR (CONCLUSION AND FUTURE WORK)

Düşük güç entegre devreler ve kablolu teknoloji alanındaki son gelişmeler KAA'ları üzerinden uzaktan sağlık izleme de dahil olmak üzere, çok çeşitli uygulamalar için kullanılacak düşük maliyetli ve hafif algılayıcı düğümlerinin tasarımını sağladı. Algılayıcıların algılama, veri işleme ve iletişim kabiliyetleri olması, bu teknolojiyi kullanarak uzaktan sağlık izleme gibi uygulamalarının hayata geçirilmesini mümkün kılıyor. Kablolu algılayıcı teknolojisi, gerçek zamanlı güncellemeler ile ucuz, invaziv olmayan ve sürekli olan sağlık gözetimini sağlayabilmektedir.

KAA teknolojisine dayanan sağlık sistemleri, her türlü sağlık kuruluşlarının yanı sıra, evlerde de sayıları giderek artan hastalara daha iyi bir sağlık hizmeti sunmak için bir gereklilik haline geliyor. Örneğin, uzaktan hasta izleme sırasında hastanın yaşamsal belirtileri önemli ölçüde değişebilir ve bazı istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Böyle kritik durumlarda, uzaktan gözetim sistemi sağlık çalışanlarına veya hasta bakıcılarına bir "uyarı" ya da acil mesajı ileterek hastaya hızlı ve zamanlı müdahale sağlayabilir. Bugüne kadar, bu alanda birçok çalışma yapılmış, birçok sistem ve sistem prototipi tasarlanmıştır. Ancak, bu sistemlerin günlük hayatlarımızda yaygın hale gelebilmesi için, yukarıda saydığımız zorlukların üstesinden gelerek gerçekleştirebiliriz.

İlerideki çalışmalarımız, kronik böbrek yetmezliği olan hemodiyaliz hastaları, hipertansiyon hastaları, ve özellikle yaşlı ya da bedensel engelli hipertansiyon hastaları için önemli olan tansiyon ve kalp hızını takip eden uzaktan izleme sistemi geliştirme üzerine odaklanacaktır. Kronik böbrek yetmezliği hastalarının hemodiyaliz sırasında sürekli tansiyonlarının gözetilmesi gerekmektedir, zira ani ve çok tehlikeli tansiyon düşmeleri gerçekleşebilir ve hemen müdahale edilmediği takdirde hastanın ölümüne neden olabilir. Bir diğer örnek olarak, yaşlı ya da yüksek tansiyondan dolayı felç geçirmiş olan bedensel engelli hipertansiyon hastalarının yüksek tansiyon konusunda daha dikkatli olmaları gerekiyor ve böyle bir sistemin bu tür durumlarda da çok yararlı olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] I. F. Akyildiz, Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E., "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, 40 (8), 102-114, 2002.
- [2] A. Alaybeyoğlu, A. Kantarcı, K. Erciyes, "Çizge Teorisi, Dağıtık Algoritmalar ve Telsiz Duyurga Ağları", Akademik Bilişim 2010 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Muğla, 2010.
- [3] H. Alemdar, C. Ersoy, "Wireless sensor networks for healthcare: A survey", Computer Networks, 54 (15), 2688-2710, 2010.
- [4] M. Walsh, M. Hayes, J. Nelson, "Robust performance for an energy sensitive wireless body area network – an anti-windup approach", International Journal of Control, 82 (1), 59-73, 2009.
- [5] M. Li, L. Wenjing, R. Kui, "Data security and privacy in wireless body area networks", IEEE Wireless Communications, 17 (1), 51-58, 2010.
- [6] J. A. Stankovic, Q. Cao, T. Doan, L. Fang, Z. He, R. Kiran, S. Lin, S. Son, R. Stoleru, A. Wood, "Wireless sensor networks for in-home healthcare: potential and challenges", High Confidence Medical Device Software and Systems (HCMDSS) Workshop, Philadelphia, PA, 2005.
- [7] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. "World Population Ageing: 1950-2050", UN World Assembly on Ageing Report, <http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/>, 2002, 13/05/2013.
- [8] National Institute on Aging, National Institutes of Health, U.S. Department of Health and Human Services, and World Health Organization, "Global Health and Aging", NIH Publication No. 11-7737 (2011), http://www.nia.nih.gov/sites/default/files/global_health_and_aging.pdf, 13/05/2013 tarihinde erişildi.
- [9] K. Withephanich, J. M. Escano, M. J. Hayes, "Ambulatory wireless sensor network power management using constrained explicit generalised predictive control", International Journal of Control, 84(8), 1450-1466, 2011.
- [10] Y. Osais, F.R. Yu, M. St-Hilaire, "Dynamic Sensor Scheduling for Thermal Management in Biological Wireless Sensor Networks", International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013, Makale No. 794920, 2013.
- [11] J. Sliwa, E. Benoit, "Wireless sensor and actor networks: e-Health, e-Science, e-Decisions", International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (iCOST), Shanghai, 1-6, 2011.
- [12] S. Bao, K. Hung, Y. T. Zhang, "Mobile Health: Wireless Body Sensor Network Integration", Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications, Taylor and Francis, New York, 707-717, 2008.
- [13] A. Wood, J. A. Stankovic, G. Virone, L. Selavo, H. Zhimin, C. Qiuhua, D. Thao, Y. Wu, L. Fang, R. Stoleru, "Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring", IEEE Network, 22 (4), 26-33, 2008.
- [14] M. A. Hanson, H. C. Powell, A. T. Barth, K. Ringgenberg, B. H. Calhoun, J. H. Aylor, J. Lach, "Body Area Sensor Networks: Challenges and Opportunities", Computer, 42 (1), 58-65, 2009.
- [15] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, P. Demeester, "A survey on wireless body area networks", Wireless Networks, 17(1), 1-18, 2011.
- [16] A. K. Dey, G. D. Abowd, "Towards a better understanding of context and context-awareness", 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, Karlsruhe, 1999.
- [17] J. Sun, Y. Fang, X. Zhu, "Privacy and emergency response in e-healthcare leveraging wireless body sensor networks", IEEE Wireless Communications, 17 (1), 66-73, 2010.
- [18] A. Volmer, R. Orglmeister, "Wireless Body Sensor Network for low-power motion-tolerant synchronized vital sign measurement", 30th IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Vancouver, 3422-3425, 2008.
- [19] W. B. Gu, C. C. Y. Poon, H. K. Leung, M. Y. Sy, M. Y. M. Wong, Y. T. Zhang, "A novel method for the contactless and continuous measurement of arterial blood pressure on a sleeping bed", IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Minneapolis, MN, 6084-6086, 2009.
- [20] G. Hui, "Real-time human heart rate monitoring using a wireless sensor network based on stochastic resonance", International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies (EDT), Shenzhen, 1, 15-18, 2010.
- [21] D. R. Zhang, C. J. Deepu, Y. X. Xiao, L. Yong, "A wireless ecg plaster for real-time cardiac health monitoring in body sensor networks", IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), Hsinchu, 205-208, 2011.
- [22] B. Vijayalakshmi, R. C. Kumar, "Patient monitoring system using Wireless Sensor based Mesh Network", Third International Conference on Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), Tamilnadu, 1-6, 2012.
- [23] M. M. Islam, F. H. M. Rafi, M. Ahmad, A. F. Mitul, T. M. N. T. Mansur, M. A. Rashid, "Microcontroller based health care monitoring system using sensor network", 7th International Conference on Electrical & Computer Engineering (ICECE), Dhaka, 272-275, 2012.
- [24] T. Falck, J. Espina, J. P. Ebert, D. Dietterle, "BASUMA - the sixth sense for chronically ill patients", International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), Boston, 60-64, 2006.
- [25] P. Leijdekkers, V. Gay, E. Lawrence, "Smart Homecare System for Health Tele-monitoring", 1st International Conference on Digital Society (ICDS), Guadeloupe, 3-6, 2007.
- [26] C. R. Baker, K. Armijo, S. Belka, M. Benhabib, V. Bhargava, N. Burkhart, A. D. Minassians, G. Dervisoglu, L. Gutnik, M. B. 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 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW), Niagara Falls, Ontario, 2, 832-837, 2007.
- [27] N. F. Ince, C. H. Min, A. Tewfik, D. Vanderpool, "Detection of Early Morning Daily Activities with Static Home and Wearable Wireless Sensors", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, 31, 2008.
- [28] S. Özdemir, "Remote Health Monitoring Using Wireless Body Area Networks", ZKU Technology Journal, 11 (3), 167-175, 2008.
- [29] W. S. Baek, D. M. Kim, F. Bashir, J. Y. Pyun, "Real life applicable fall detection system based on wireless body area network", IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 62-67, 2013.
- [30] K. Montgomery, C. Mundt, G. Thonier, A. Tellier, U. Udoh, V. Barker, R. Ricks, L. Giovangrandi, P. Davies, Y. Cagle, J. Swain, J. Hines, G. Kovacs, "Lifeguard - a personal physiological monitor for extreme environments", 26th IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society (IEMBS), San Francisco, 1, 2192-2195, 2004.
- [31] D. Malan, T. F. Jones, M. Welsh, S. Moulton, "Codeblue: An ad-hoc sensor network infrastructure for emergency medical care",

- Proceedings of the International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, London, 2004.
- [32] M. Sung, C. Marci, A. Pentland, "Wearable feedback systems for rehabilitation", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(17), 2005.
- [33] P. Iso-Ketola, T. Karinsalo, J. Vanhala, "HipGuard: A wearable measurement system for patients recovering from a hip operation", *Second International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, Tampere, 196-199, 2008.
- [34] L. M. Borges, N. Barroca, F. J. Velez, A. S. Lebres, "Smart-clothing wireless flex sensor belt network for foetal health monitoring", *3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, London, 1-4, 2009.
- [35] J. H. Cheong, S. S. Y. Ng, X. Liu, R. F. Xue, H. J. Lim, P. B. Khannur, K. L. Chan, A. A. Lee, K. Kang, L. S. Lim, C. He, P. Singh, W. T. Park, M. Je, "An Inductively Powered Implantable Blood Flow Sensor Microsystem for Vascular Grafts", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59 (9), 2466-2475, 2012.
- [36] M. A. Ameen, A. Nessa, K. S. Kwak, "QoS Issues with Focus on Wireless Body Area Networks", *3rd International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology (ICCIT)*, Khulna, 1, 801-807, 2008.
- [37] J. G. Ko, C. Lu, M. B. Srivastava, J. A. Stankovic, A. Terzis, M. Welsh, "Wireless Sensor Networks for Healthcare", *Proceedings of the IEEE*, 98 (11), 1947-1960, 2010.
- [38] M. Avvenuti, C. Baker, J. Light, D. Tulpan, A. Vecchio, "Non-intrusive Patient Monitoring of Alzheimer's Disease Subjects Using Wireless Sensor Networks", *World Congress on Privacy, Security, Trust and the Management of e-Business*, Saint John, New Brunswick, 161-165, 2009.
- [39] F. Zhang, S. A. Hackwoth, X. Liu, C. Li, M. Sun, "Wireless power delivery for wearable sensors and implants in Body Sensor Networks", *IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Buenos Aires, 692-695, 2010.
- [40] A. Ehyae, M. Hashemi, P. Khadivi, "Using relay network to increase life time in wireless body area sensor networks", *IEEE International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops (WoWMoM)*, Kos, 1-6, 2009.