

## Kablosuz vücut alan ağlarında ortam erişim protokolleri

Abdullah Sevin<sup>1</sup>, Akif Akgül<sup>2</sup>, Murat Çakıroğlu<sup>\*3</sup>

*02.08.2013 Geliş/Received, 08.10.2013 Kabul/Accepted*

### ÖZ

Kablosuz ortamda haberleşen, küçük boyutlu ve zeki aygıtlardan oluşan Kablosuz Vücut Alan Ağlarının (KVAA) önemi, insanların sağlık verilerinin günlük hayatta takip edilmesine olanak sağlaması sebebiyle gün geçtikçe artmaktadır. KVAA'ların gerekli hizmet kalitesini verebilmesi ve enerji etkinliğinin sağlanması için en önemli etken ortam erişim protokolleridir. Bu sebeple, literatürde konuyla ilgili gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Sunulan çalışmada bu konuda yapılmış bazı temel çalışmalar geliştirme faaliyetleri hakkında değerlendirme yapmak ve gelecek çalışmalara yardımcı olmak amacıyla özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kablosuz vücut alan ağları, ortam erişim protokolleri

### Mac protocols for wireless body area networks

#### ABSTRACT

The importance of Wireless Body Area Networks (WBAN), composed of small and intelligent devices, and capable of communicating in wireless medium, is increasing recently due to their allowing the monitoring of people health in daily life. The most important factor to provide required quality of service and ensure the energy efficiency is medium access protocol. Therefore, many studies on them were conducted in the literature. Some basic studies on this topic are summarized in this study to supply review of development activities and help for future studies.

**Keywords:** wireless body area networks, medium access protocols

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Sakarya - asevin@sakarya.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Sakarya - aakgul@sakarya.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya - muratc@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya sağlık örgütüne göre dünya nüfusunun yaşlanması önemli bir problem olmakla beraber milyonlarca kişinin hareketsiz yaşam tarzı obezite ve kronik hastalıklara neden olmaktadır. Bu durum, zaten aşırı iş yükü bulunan sağlık sistemini daha zora sokacağı öngörülmektedir [1]. Buna karşı sağlık hizmetlerinin verimli bir şekilde görülebilmesi için artık hastaların takibinin sadece sağlık merkezlerinde değil, gün boyunca normal hayatına devam ederken de sürdürülmesi için gerekli teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunların yanında sağlık hizmetlerinin ücretlerinin pahalı olması da yeni teknoloji odaklı gelişmelerin başlangıcını tetiklemiştir. Bu konu odaklı çalışmalar sonucu, elektronik alanındaki gelişmeler ile vücudun üzerine veya içine yerleştirilebilen, küçük ve zeki biyomedikal algılayıcıların gelişimi sağlanmıştır. Bu algılayıcıların elde ettikleri verileri analiz etmesi ve saklanmak üzere uzaktaki bir sunucuya göndermesi gerekmektedir. Bunun için de kablosuz bir bağlantının kullanılması maliyet ve uygulanabilirlik açısından daha verimli olacaktır [2]

Kablosuz Vücut Alan Ağları (KVAA), vücudun üzerine veya içine yerleştirilen, kablosuz ortamda haberleşebilen küçük ve zeki aygıtlardır. Bu aygıtlar kesintisiz bir şekilde kişinin sağlık durumunun gözlemlenmesini ve gerçek zamanlı olarak geri dönüt alınmasını sağlamaktadır. Dahası, ölçümler uzun bir süre boyunca saklanarak elde edilen değerlerin kalitesinin artması sağlanabilmektedir [3]. KVAA sistemi günümüzdeki diğer elektronik hasta izleme sistemlerine karşılaştırıldığında iki önemli avantaja sahiptir; seyyar izleme cihazların kullanılmasından dolayı hastalarında hareketliliğinin sağlanması ve konumdan bağımsız izleme kolaylığının sağlanmasıdır [4].

KVAA'lar birbirine bağlı birçok sayıda algılayıcıdan oluşur. Bu algılayıcılar nispeten geniş bir ölçekte yaklaşık 1kb/s-1Mb/s arasında veri iletimine ihtiyaç duyarlar. Çünkü vücuttan okunacak sıcaklık, Elektroensefalografi (EEG), Elektrokardiyografi (EKG), Elektromiyografi (EMG) vb. verilerin aktarılabilmesi için gerekli veri iletim hızları birbirinden farklıdır [5]. Medikal verilerin farklı iletim hızında iletilmesi gerekmektedir. Çünkü gereğinden fazla iletim hızının kullanılması enerji verimliliği açısından sistemi olumsuz yönde etkileyecektir. Gereğinden az veri iletim hızı seçilirse verinin kalitesinde bozulmalar olacaktır. KVAA'larda öncelikli hedef güç tüketiminin azaltılması ve gerekli servis kalitesinin sağlanmasıdır. Ortam erişim katmanı ise bu iki konuyu ele almak için en uygun seviyedir. Bu katman düğümlerin paylaşılan kablosuz ortama erişimini hangi düğümün ne zaman sağlayacağını belirleyen katmandır [6].

KVAA'larda enerji etkinliği ve servis kalitesinin sağlanması bu katmanın tasarımı ile gerçekleştirilebilmektedir. KVAA'ların öneminden dolayı bu alandaki çalışmalara son zamanlarda ilgi artmıştır. Bundan dolayı yapılan çalışmalara genel bir çerçevede bakılması ve karşılaştırılması ileride yapılacak çalışmalar için ihtiyaç olmuştur. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak literatürde [6, 7] birçok farklı çalışma mevcut KVAA'lar için gerçekleştirilen ortam erişim protokollerini özetlemekte ve karşılaştırmasını gerçekleştirilmektedir. Çalışmamızda ise yapılan karşılaştırmalardan farklı olarak mevcut protokollerin enerji verimliliği, servis kalitesi, zaman senkronizasyonu ve ortam erişim mekanizmaları açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

Makalenin sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de ortam erişim protokolleri sunulmaktadır. Bölüm 3'de ise KVAA'lar için önerilen ortam erişim protokolleri tanıtılmaktadır. Bölüm 4'te ise çalışmamızın değerlendirilmesi yapılmaktadır.

## 2. ORTAM ERİŞİM KATMANI (MEDIUM ACCESS LAYER)

KVAA'lar için düşük güç tüketimli ortam erişim protokolleri son yıllarda yeni bir araştırma konusu olmuştur. Bazı uygulamalar ise enerji-verimliliğinden ziyade güvenilir iletişim veya düşük bekleme zamanı gerektirmektedir. KVAA'ların farklı kritik ihtiyaçlarına cevap verebilecek yeni bir Ortam Erişim Protokolünün (OEP) önerilmesi veya araştırılması konusunda birçok incelemeler yapılmıştır [7]. Literatürde Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) için geliştirilmiş protokoller mevcuttur; S-MAC [8], T-MAC [9], B-MAC [10], Wise-MAC [11], PACT [12], SIFT [13], FLAMA [14] ve DMAC [15]. Ama KVAA'lar KAA'lardan bazı yönleriyle farklılık göstermektedir. Bu yüzden KAA için geliştirilen ortam erişim protokolleri KVAA'lar için uygun olmamaktadır. Tablo 1'de görüldüğü gibi KVAA'lar için gerekli özellikler dikkate alınarak geliştirilen yeni bir ortam erişim protokolü geliştirilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır; Omeni [16], MedMAC [17], PB-TDMA [18], BodyMAC [19], Marinkovic [5], H-MAC [20], DQ-MAC [21] ve BodyQos [22].

Tablo 1. KAA ile KVAA arasındaki farklara genel bir bakış (Overview of the differences between WSN with an WBAN) [23]

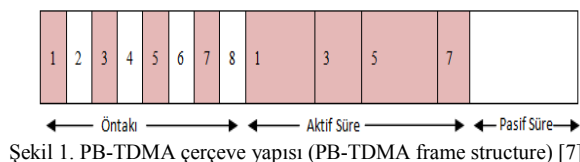
Özellikler	Ağlar	
	KAA	KVAA
Ölçek	Çevre (m/km)	Vücut (cm/m)
Düğüm boyutu	Küçük olması öncelikli ama çok önemli değil	Küçük olması şart
Veri Hızı	Genelde homojen	Genelde heterojen
Ağ topolojisi	Genelde sabit veya statik	Vücut ile birlikte hareketli
Düğüm sayısı	Geniş alan kapsamı için gereksiz düğümler bulunur	Sınırlı alandan dolayı daha az düğüm sayısı
Güvenlik	Düşük	Hastanın bilgilerini korumak için daha yüksek
Kablosuz teknoloji	Bluetooth, Zigbee, GPRS, ...	Düşük güç teknoloji gerekli

Literatürdeki KVAA'lar için geliştirilmiş ortam erişim protokollü çalışmaları temelde çekişme tabanlı, çizelge tabanlı ve zaman-bölmeli ortam erişim olarak gruplayabiliriz. Bunların dışında frekans-bölmeli ortam erişim tabanlı protokoller kompleks bir donanım gerektirdiği ve kod-bölmeli ortam erişim tabanlı protokoller ise yüksek işlem gereksinimi ve enerji sarfiyatının fazla olmasından dolayı tercih edilmemektedir [6].

### 3. ORTAM ERİŞİM KATMANI PROTOKOLLERİ (MEDIUM ACCESS LAYER PROTOCOLS)

#### 3.1. PB-TDMA Protokolü (PB-TDMA Protocol)

PB-TDMA protokolü zaman-bölmeli ortam erişim mekanizmasına dayanır. Bu protokolle düğümler kendilerine tahsis edilmiş, çekişmenin olmadığı zaman dilimlerinde veri iletimi gerçekleştirirler. Bu zaman dilimleri her sabit çevrimde tekrarlanır. Zaman dilimlerinin tam bir çevrimi çerçeve olarak adlandırılmaktadır. PB-TDMA protokolünde her bir çerçeve Şekil 1'de görüldüğü gibi bir öntakı ve veri iletim aralıklarından oluşmaktadır [7].



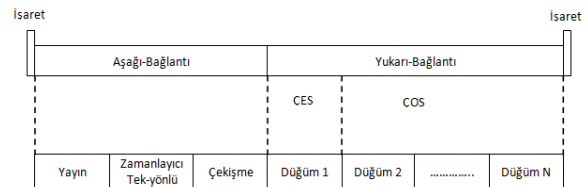
Şekil 1. PB-TDMA çerçeve yapısı (PB-TDMA frame structure) [7]

Bir düğüm öntakı boyunca kanalı dinler ve kendisine tahsis edilen zaman diliminde ise veri iletimini gerçekleştirir. Öntakıda her düğüm için ayrılmış alt zaman aralıkları vardır ve düğüm bu zaman aralığında ortamı dinler. Bu alt zaman aralıkları, hedef düğümü etkinleştirmek için kullanılır. Düğüm öntakıda kendi ID'sini gördüğü zaman aktif hale gelir. Öntakı alındıktan sonra hedef düğüm, kaynak düğümün kimliğini tanır. Düğümler göndermesi gereken veri paketi olmadığı zaman ise Alıcı/Vericisini kapatır. Bu mekanizma algılayıcı düğümlerin gereksiz güç tüketimini engeller. Düğümün göndermesi gereken bir veri olduğu zaman veya öntakıda kendi numarasına rastladığı zaman alıcı ve vericisini tekrar açar. Simülasyon sonuçları, enerji tasarrufu bakımından PB-TDMA'nın S-MAC ve IEEE 802.15.4 protokolüne göre daha iyi olduğunu göstermiştir [7].

#### 3.2. BodyMAC Protokolü (BodyMAC Protocol)

BodyMAC protokolü zaman-bölmeli ortam erişimi sağlayan bir protokoldür ve birincil tasarım hedefi bant genişliği tahsisi ve uyku modunu desteklemesi açısından esnek bir yapı sunması ve enerji-verimliliğini sağlamasıdır. KVAA'lar yıldız topolojisine sahip olduklarını varsayabiliriz. KVAA'lar yaşam süresi öneminin ve veri hızı değişik olduğu birçok farklı uygulama tipini desteklemek zorundadır. Bu gibi hususlar dikkate alınarak KVAA'ların yaşam sürelerini uzatmak için BodyMAC protokolü 3 temel konuda katkı sağlamıştır; Çerçeve yapısı, bant genişliği yönetimi, uyku modu.

Zaman-bölmeli ortam erişim tabanlı yukarı-bağlantı ve aşağı-bağlantı alt çerçevesini içeren bir Ortam Erişim Kontrolü (OEK) çerçeve yapısı oluşturulmuştur (Şekil 2). OEK çerçeve yapısının uyarlanabilir ve esnek olması sayesinde uyku moduna imkân sağlamaktadır. Bunun sonucunda uyku modunun verimliliği artmaktadır. Buradaki temel hedef paket çarpışma olasılıklarını, radyo iletim zamanını, ortamı boş yere dinlemeyi ve kontrol paket yükünü azaltarak düğümlerin enerji-verimliliğini arttırmak için esnek bant genişliği tahsis yapısı kullanılmaktadır [19].



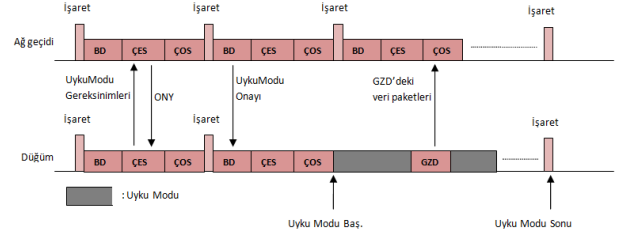
Şekil 2. BodyMAC Çerçeve yapısı (BodyMAC Frame structure) [19]

BodyMAC'deki OEK çerçeve yapısı 3 kısımdan oluşmaktadır; işaret sinyali, aşağı-bağlantı, yukarı-bağlantı. İşaret sinyal aralığı, OEK katmanı

senkronizasyonu ve OEK çerçeve yapısının tanımlanması için kullanılmaktadır. Bu kısım ayrıca ağ hakkında bilgi içermektedir. Aşağı-bağlantı aralığı ise ağ geçidinden düğümlere doğru olan veri akışı için ayrılmıştır. Bu veri iletimi, ağdaki herhangi bir düğümde doğru bir yayın olabileceği gibi tüm düğümlere de yayın olabilir. Yukarı-bağlantı aralığı ise çekişmenin olduğu ve olmadığı 2 alt kısımdan oluşmaktadır. Çekişmeli Erişim Süresinde (ÇES) düğümler OEK kontrol paketlerini göndermek için birbirleriyle çekişirler. Bu arada ufak boyuttaki OEK veri paketleri de iletilebilir. Çekişmenin Olmadığı Sürede (ÇOS) ise zaman aralıklarının düğümlere tahsisi ağ geçidi tarafından kontrol edilir. Aşağı-bağlantı kısmındaki çekişme olan ve olmayan kısımların süresi ise ağ geçidi tarafından ağın trafik karakteristiğine bakılarak belirlenir [19].

BodyMAC'de veri iletiminin temel karakteristiği yukarı-bağlantı ve aşağı-bağlantı aralıklarının asimetrik olmasıdır. Normalde düğümler verileri toplayıp merkezi düğüme gönderirler. Bu yüzden zaman tahsisinde yukarı-bağlantı kısmı aşağı-bağlantı kısmının süresinden genelde daha uzun olur. Aşağı-bağlantı kısmı ise sadece kontrol komutları ve sistem bilgilerinin iletilmesi için kullanılır. Düğümler kontrol paketleri iletimi ve veri paket gönderimi için 2 türlü istekte bulunur ve bu düğümlerin isteklerine göre merkezi düğüm tarafından kanal tahsisi gerçekleştirilir. İletilmesi gereken veri miktarının farklı olabileceğinden 3 farklı veri paket gönderim isteği tanımlanmıştır; periyodik veri iletimi, ayarlanabilir veri iletimi ve çok yüksek veri iletimleri için patlamalı (burst) veri iletimi. Böylelikle veri iletimleri kategorize edilerek en uygun şekilde kanal tahsisi gerçekleştirilmekte ve enerji verimliliği sağlanmaktadır [19].

Verimli bir uyku modu hattın boş yere dinlenme süresini azaltır ve özellikle düşük görev çevrimi olan düğümler için enerji-verimliliğini artırır. Bir düğümün uyku moduna geçmesi için 3 aşama gerekmektedir (Şekil 3); uyku modu isteği, onay verilmesi ve uyanma aşaması. Uyku moduna geçmek isteyen düğüm yukarı-bağlantı kısmının çekişme olan zaman diliminde istek paketini merkezi düğüme gönderir. Bu pakette uykuya geçeceği çevrim zamanı ve uyku süresi parametreleri vardır. Eğer istek merkezi düğüme başarılı bir şekilde ulaşırsa bir sonraki çevrimde düğüme onay paketi gönderilir. Onay paketini alan düğüm uyku moduna geçer [19].



Şekil 3. Uyku modu prosedürü (Sleep mode procedure) [19]

BodyMAC protokolü, IEEE 802.15.4 MAC protokolü ile karşılaştırıldığında uçtan-uca gecikme ve enerji-verimliliği açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [19].

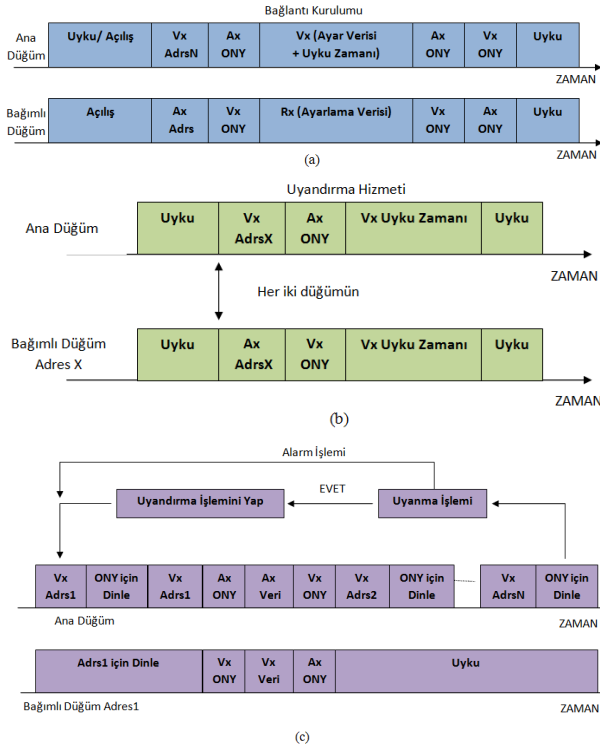
### 3.3. Enerji-verimli Ortam Erişim Protokolü (Energy-efficient Medium Access Protocol)

Omeni ve ark. [16] tarafından özellikle yaygın sağlık uygulamaları için geliştirilmiş bir protokoldür. Geliştirilen protokol tek-atlamalı haberleşmeye göre tasarlanmış ve merkezi düğüm tarafından uyanma/uyku zamanları kontrol edilerek enerji tüketiminin azalması sağlanmıştır. Zaman-bölmeli ortam erişim tabanlı bir protokoldür. OEK protokolünün işleyişinin temelinde 3 mekanizma vardır (Şekil 4); bağlantı kurulumu, uyandırma hizmeti ve alarm prosesi. Bu 3 haberleşme mekanizmasının başlayabilmesi birincil merkezi düğüm tarafından olmaktadır [6].

Bağlantı kurulumunda düğümler kendi aralarında bir küme oluşturmaya çalışır. Birincil merkez düğüm ilk aktif olduğunda ortamdaki boş kanalları tarayarak küme oluşturmak için diğer ikincil düğümleri tespit etmeye çalışır. Eğer bir düğüm tespit edilirse, o düğüme bir iletişim paketi gönderilir. İletişim paketini alan ikincil düğümler kabul paketi göndererek kümeye dâhil olurlar. Birincil düğüm ile diğer düğümler arasında bağlantı kurulumu bittikten sonra merkezi düğüm tarafından diğer düğümlere tekil bir adres, konfigürasyon bilgisi ve uyku zamanını bildiren bir bilgi verilir [16].

Bağlantı kurulumu bittikten sonra belirlenen zamanda birincil ve ikincil düğümler beraber uyku moduna geçerler ve zamanlayıcıları çalıştırarak uyanma süresine kadar birincil düğüm alıcısını ve diğer düğümler vericilerini kapalı konumda tutar. Birincil düğüm uandıktan sonra sorgu paketleri göndererek kümedeki güncel durum hakkında bilgi toplar ve bir sonraki uyku zaman dilimini ayarlar. Böylelikle düğümler arası senkronizasyonu sağlar. Eğer ikincil düğümlerden herhangi biri acil bir durum tespit ederse (ölçümlerin sınırı aşması veya düğümde bellek taşması olabilir) uyanma zaman dilimini beklemeden birincil düğümlerle haberleşebilir. Alarm durumu aktif olduğunda birincil

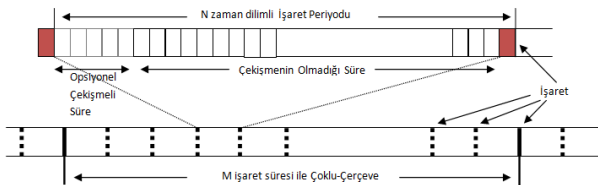
düğüm gerekli paketleri yayımlayarak ağdaki diğer düğümlere gönderir [16].



Şekil 4. (a) bağlantı kurulumu (b) uyandırma hizmeti (c) alarm işlemi ((a) connection setup (b) wake-up service (c) alarm operation) [16]

### 3.4. MedMAC (MedMAC)

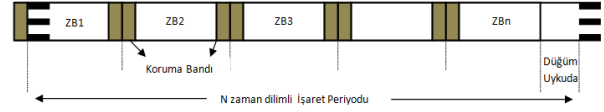
MedMAC ayarlanabilir bir OEK protokolüdür. Ayarlanabilir denmesinin sebebi ise çevrim zamanında opsiyonel olarak çekişmenin serbest olduğu bir zaman dilimi ayrılmasıdır. Bu özellik sayesinde protokolün farklı uygulamalara (düşük dereceli veri uygulamaları, acil senaryolar, ağır kurulum aşaması vb.) adaptasyonuna olanak sağlamaktadır. Her bir çevrim düğüm sayısına bağlı olarak 2-256 arasında zaman dilimine ayrılabilir (Şekil 5). Bu özelliği ile bir çevrimdeki zaman dilimlerinin boyutlarını heterojen uygulamalar için değiştirebilmektedir [17].



Şekil 5. MedMAC çerçeve yapısı (MedMAC frame structure) [17].

Koordinatör ile diğer düğümlerin senkronizasyonu zaman bilgisini temizleme ve uyarlanabilir bant koruma algoritması ile sağlanır. Zaman bilgisi temizlenirken, senkronizasyon güncellenen zaman bilgisi alanları ile

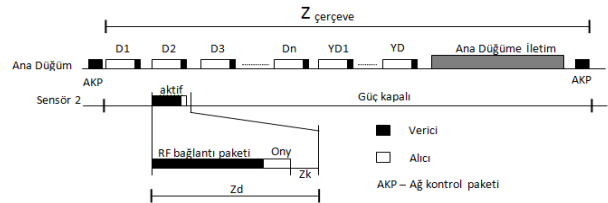
sağlanmaktadır. Uyarlanabilir bant koruma algoritması her bir zaman dilimi için koruma bandını tanımlamasıyla düğümlerin uyumasına olanak sağlar. Bu koruma bandı zamanı boyunca düğümler uyku modunda kalırlar (Şekil 6). Algoritma koruma bandını her bir düğüm için ayrı hesaplar [6].



Şekil 6. MedMAC zaman dilimleri ve koruma bantları (MedMAC time slots and guard bands) [17].

### 3.5. Marinkovic OEK (Marinkovic MAC)

Marinkovic ve ark. [5] KVAA'ların özelliklerini dikkate alarak özellikle düşük iş hacmi olan uygulamalar için enerji-verimli bir OEK protokolü geliştirmişlerdir. Birçok KVAA uygulamasının mimarisi hiyerarşik bir yapıdadır. Düğümler ortamdaki algıladıkları verileri bir merkezi düğüme gönderir ve bu düğüm topladığı verileri gözlem istasyonuna gönderir. Bundan dolayı merkezi düğüm ile diğer düğümlerin özellikleri ve görevleri farklıdır. Merkezi düğümler senkronizasyonu koordine etmek ve verileri gözlem istasyonuna göndermek için kullanılır. Geliştirilen protokolda her bir düğüm kendine ayrılan zaman diliminde uyanır ve iletişimini gerçekleştirir. Merkezi düğüm ise bu verileri alarak kendine ayrılan zaman diliminde bunları gözlem istasyonuna iletir. Bunlara ek olarak bir çevrimin içinde ekstra zaman dilimleri ayrılmıştır. Bu ekstra zaman dilimleri, haberleşmede problem olduğunda paketleri yeniden göndermek için kullanılarak gerçek zamanlı iletişimin sürdürülmesine olanak sağlar ve kaybolan paketlerin yeniden gönderilmesine olanak sağladığı için haberleşmenin dayanıklılığını artırır [5].



Şekil 7. TDMA zaman çevrimi (TDMA time cycle) [5]

Zaman dilimi tahsisinde iki farklı yöntem vardır. Birinci yöntemde düğümlere sabit bir zaman tahsis edilir. Bu yöntem basittir fakat esnek olmayan bir yapıya sahip olduğundan sadece önceden belirli olan sabit uygulamalarda kullanılabilir. İkinci yöntemde ise merkezi düğüm zaman dilimlerini Ağ Kontrol (AK) paketlerine göre dağıtır. Bu durumda her bir düğüme tekil bir adres ve haberleşme için tekil bir kanal tahsis edilir. Birinci yönteme göre daha esnek bir yapıyla iş

yükü önceden kestirilemeyen uygulamalar için uygundur. Bu protokolda iki tip paket tanımlanmıştır; veri paketleri ve kontrol paketleri. Veri paketi, düğümlerden gelen örneklenmiş verileri içerir. Bu paketin içinde ekstra zaman dilimi isteği gösteren EZD biti vardır. Bir düğüm ekstra zaman istemek için bu biti kurar. Kontrol paketlerinin de iki tipi vardır; transfer kontrol ve ağ kontrol paketleri. Transfer kontrol paketleri (ONY, NONY), paket iletiminin tamamlanmasını kontrol eder. Ağ kontrol paketleri ise her çevrimde ağ kontrol ederek senkronizasyonu ve zaman dilimlerinin tahsisinin kontrolünü sağlar [5].

### 3.6. H-MAC (H-MAC)

Heartbeat Driven (H-MAC) protokolü temelde yıldız topolojisine sahip ağlar için tasarlanmış zaman-bölmeli ortam erişim tabanlı bir protokoldür. H-MAC protokolü kalp atış ritmi bilgisinden faydalanarak enerji-verimliliğini arttırmayı hedeflemektedir. Zaman senkronizasyonunu sağlamak için periyodik senkronizasyon sinyalleri yerine kalp ritmi bilgisi kullanılır ve bu da enerji harcamalarını azaltarak ağın ömrünü artırır. Bu yüzden koordinatör olan merkezi düğüm nabız ölçebilen kol-saati, PDA veya akıllı cep telefonu olmalıdır. H-MAC protokolü zaman-bölmeli ortam erişim mekanizmasına benzer bir şekilde her bir düğüme ayrı bir zaman dilimi tahsis eder [20].

Enerji-verimliliği sağlmasına karşın seyrek olan uygulamalar için uygun değildir. Çünkü zaman dilimleri trafik yüküne göre tahsis edilmez. Örneğin tansiyon ölçümü yapan düğümün her zaman özel bir zaman dilimine ihtiyacı olmaz. Kalp ritmi bilgisi kişinin durumuna göre değişebileceğinden senkronizasyon için her zaman geçerli bilgiler ortaya koymayabilir. Buna çözüm ise, zaman dilimlerinin trafik yüküne göre ayarlanması ve senkronizasyon paketlerinin paket göndermeye/almaya ihtiyaç olduğu zaman yayımlanmasıdır [18].

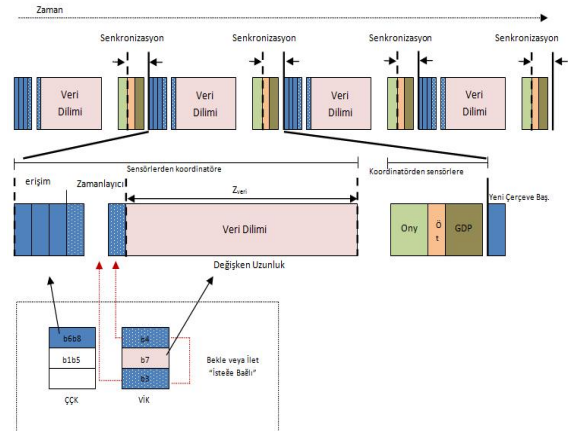
### 3.7. DQMAC (DQMAC)

Yukarıda belirtilen enerji-verimli protokollerden farklı olarak Servis Kalitesi (SK) temelli bir protokoldür. Bu protokol, bulanık mantık karar yapılarını kullanarak enerji-verimliliği ve servis kalitesi açısından optimum bir OEK protokolü hedeflenmiştir. DQ-MAC protokolünün temel prensibi, trafik yoğunluğu düşük olduğu zaman ortama erişimin rasgele (çekişme tabanlı), trafik yoğunluğu arttığı zaman ise otomatik olarak rezervasyon tabanlı olmasıdır [21].

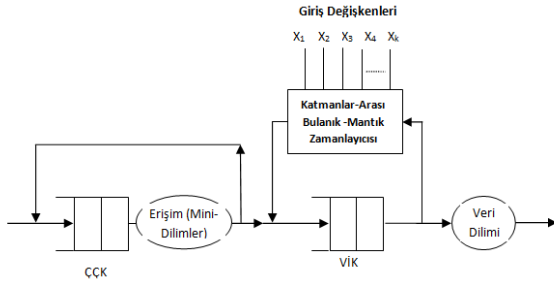
Genel çerçevede, algılayıcı düğümlerden koordinatöre ve koordinatörden algılayıcı düğümlere olmak üzere iki çeşit iletişim vardır. Algılayıcı düğümlerden

koordinatöre olan iletişimde zaman eksenine (Şekil 8) erişim için zaman dilimlerine bölünür. Her bir zaman dilimi erişim ve veri olmak üzere iki alt kısma ayrılır. Erişim zaman dilimi de kendi içinde mini zaman dilimlerine bölünür ve buradaki iletişim çekişmesiz gerçekleşir. Buradaki temel fikir ise kullanıcı erişim isteklerinin bu mini zaman dilimlerine yoğunlaştırılması ve veri zaman diliminde ise veri iletiminin çekişmeli olarak gerçekleştirilmesidir. DQ-MAC protokolünde ağdaki her bir düğüm dağıtık iki adet kuyruk tutabilecek şekilde modellenmiştir (Çarpışma Çözüm Kuyruğu (ÇCK), Veri İletim Kuyruğu (VİK)). Veri iletim kuyruğunda gönderilecek veriler tutulur ve çarpışma çözüm kuyruğu ise çarpışma sonucu düğümlerin ortama erişimlerini kontrol etmeyi sağlar. Bu iki adet kuyruktaki verileri tutan tamsayı değerlerine göre mini zaman dilimlerinin sayısı belirlenir ve çekişmeli/çekişmesiz kısımların oranı belli olur. Böylelikle her bir zaman diliminin trafik yükünden bağımsız olarak sabit kalmasını sağlar. Bunların sonucunda gecikme ve güvenilirlik açısından optimum bir başarımla elde etmesine olanak sağlar. Koordinatörden algılayıcı düğümlere yapılan iletişimde ise merkezi düğüm onay paketi, öntakı ve geri bildirim paketi yayınlar. Geri bildirim paketi düğümler arasındaki senkronizasyonu sağlamakla beraber bütün düğümlerin doğru çalışması için gerekli kontrol bilgilerini içerir. Öntakı ise düğümler uyku moduna geçerken veya uyanırken senkronizasyonun sağlanmasına olanak tanır. Onay paketi ise, iletişim doğru olarak gerçekleştiği zaman merkezi düğüm tarafından yayınlanır [21].

Veri iletim kuyruk yapısının zaman çizelgelemesi bulanık mantık kurallarına göre yapılır (Şekil 9). Burada mantıksal sistem kendi özel ihtiyaçlarına göre bir sonraki çerçevede veri iletimini talep etme veya reddetmeye karar verir. Buradaki temel fikir, sistemin istenilen servis kalitesi kriterlerine (kanal kalitesi, batarya ömrü vb.) göre şekillendirilebilmesidir [21].



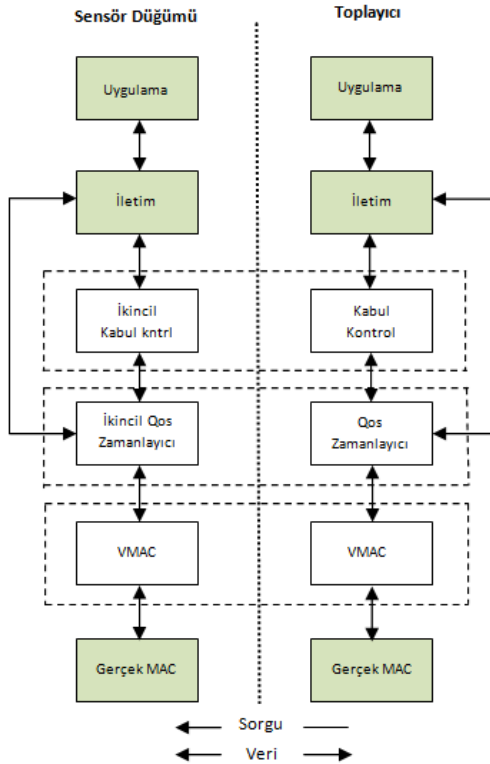
Şekil 8. DQBAN genel çerçeve yapısı (The general frame structure of DQBAN) [21].



Şekil 9. DQBAN mantıksal sistem modeli (DQBAN logical system model) [21]

### 3.8. BodyQos (BodyQos)

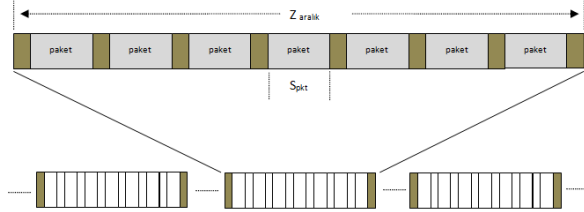
BodyQos [22], veri akış hizmetine, asimetrik SK çerçevesine, radyo-agnostik servis kalitesine ve uyarlanabilir bant genişliği çizelgelemesine öncelik vererek KVAA'larda servis kalitesini sağlamayı hedeflemiştir. BodyQos üç bileşenden oluşur; kabul kontrol, SK çizelgeleyici ve VMAC (sanal MAC). Giriş denetimi ve çizelgeleyici bileşenleri sırasıyla toplayıcı ve sensör düğümler üzerinde birincil ve ikincil olarak uygulanır. BodyQos asimetrik mimariyi (Şekil 10) benimsemektedir [24].



Şekil 10. BodyQos mimarisi (BodyQos architecture) [22]

VMAC'de SK desteği için ve genel OEK protokollerinde bulunması gereken üç ana özellik tanımlanmıştır. Birincisi; OEK katmanı istek geldiği zaman istenilen

paketi gönderebilmelidir. Paket sağlam bir şekilde iletilmediği veya iletim gerçekleşmediği bilgisi zaman çizelgeleyiciye geri döndürülmelidir. İkincisi; paket alındığı zaman bunu SK çizelgeleyiciye bildirmelidir. Üçüncüsü ise uyku/uyanma durumları arasındaki geçişlerin denetimi için zaman ve enerji yükünü devamlı kontrol etmelidir. VMAC'de zaman eksenini zaman dilimlerine ayırmıştır. Her bir zaman dilimi içinde, VMAC belirtilen yük uzunluğuna göre belirli bir sayıdaki paketleri dışarı gönderebilir [22]



Şekil 11. VMAC zaman dilimi (VMAC time slots) [22]

### 3.9. Ortam erişim protokollerinin değerlendirilmesi (Evaluation of media access protocols)

Mevcut protokollerin servis kalitesi, ortam erişim yöntemleri ve zaman senkronizasyonu açısından karşılaştırılması Tablo 2' de gösterilmektedir. Mevcut protokollerden olan DQMAC ve BodyQos protokolleri servis kalitesi sağlaması yönüyle öne çıkmaktadır. PB-TDMA protokolü ise ortama erişim mekanizmasında öntakıyı kullanması ile farklılık göstermektedir. BodyMAC protokolü ise enerji verimliliğini uyku modu desteği ile arttırmak ile birlikte çekişmeli ve zaman bölmeli ortam erişim sağlamasıyla dikkati çekmektedir. Omeni MAC ise uyku modu ve acil durumlar için alarm işlemi gerçekleştirebilmektedir. MedMAC protokolü opsiyonel olarak çekişmenin serbest olduğu bir zaman dilimi tahsisi ile farklı uygulama türlerine adaptasyonu sağlamaktadır. Marinkovic MAC protokolü hiyerarşik mimariye sahip olup veri paketleri ile kontrol paketlerini birbirinden ayıran bir yapıya sahiptir. H-MAC protokolü ise senkronizasyon için kalp ritimlerini kullanması ile diğer protokollerden farklılık göstermektedir.

Tablo 2. Mevcut ortam erişim protokollerinin karşılaştırılması (Comparison of current media access protocols)

	Servis Kalitesi	Ortam Erişimi	Zaman Senkronizasyon
PB-TDMA	Hayır	Zaman paylaşımlı	Hayır
BodyMAC	Hayır	Çekişmeli ve Zaman bölmeli	Evet
Omeni MAC	Hayır	Zaman bölmeli	Evet
MedMAC	Hayır	Çekişmeli ve Zaman bölmeli	Evet
Marinkovic MAC	Hayır	Zaman bölmeli	Evet
H-MAC	Hayır	Zaman bölmeli	Evet
DQMAC	Evet	Çekişmeli ve Zaman bölmeli	Evet
BodyQos	Evet	Çekişmeli ve Zaman bölmeli	Hayır

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışmamızda literatürde ortam erişim protokolü tasarımı gerçekleştirmiş çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmalar temel olarak iki kısma ayrılmıştır. Gerekli hizmet kalitesini sağlamayı temel hedef edinmiş uygulamalar ve enerji etkinliğini hedefleyip ağın yaşam süresini arttırmaya çalışan uygulamalar geliştirilmiştir. Makalemizde bazı temel çalışmalar özetlenmiştir. Mevcut protokoller servis kalitesi, enerji verimliliği, ortam erişimi ve zaman senkronizasyonu gibi yönleriyle karşılaştırılmıştır ve öne çıkan yönleri belirtilmiştir. Böylelikle bu konuda ileride yapılacak çalışmalara yardımcı olunmakta ve mevcut protokollerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde bundan sonraki yapılacak olan ortam erişim protokollerinde, uygulama alanının tespiti gerçekleştirilmeli ve ihtiyaçlar doğrultusunda protokolün, enerji verimliliği ve servis kalitesi gibi özellikleri oluşturulmalıdır. Sonraki araştırma çalışmalarda ise literatürdeki diğer çalışmalarda dahil edilerek mevcut protokollerin performans karşılaştırmaları eklenebilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] M. Patel ve J. Wang, «Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking Technologies,» *IEEE Wirel Commun Mag*, cilt 17(1), p. 80–88, 2010.

[2] D. Cypher, N.Chevrollier, N. Montavont ve N. Golmie, «Prevailing over wires in healthcare environments: Benefits and challenges,» *IEEE Communications Magazine*, cilt 44(4), p. 56–63, 2006.

[3] S. Park ve S. Jayaraman, «Enhancing the quality of life through wearable technology,» *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, cilt 22(3), p. 41–48, 2003.

[4] J. Y. Khan, M. R. Yüce, G. Bulger ve B. Harding, «Wireless Body Area Network (WBAN) Design Techniques and Performance Evaluation,» *Journal of Medical Systems*, pp. 1-31, 2010.

[5] S. Marinkovic, C. Spagnol ve E. Popovici, «Energy-Efficient TDMA-Based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks,» %1 içinde *Proceedings of the 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2009.

[6] S. Gopalan ve J. Park, «Energy-efficient MAC protocols for wireless body area networks: Survey,» *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 2010.

[7] S. Ullah, B. Shen, S. R. Islam, P. Khan, S. Saleem ve K. S. Kwak, «A Study of MAC Protocols for WBANs,» *Sensors*, cilt 10(1), pp. 128-145, 2010.

[8] W. Ye, J. Heidemann ve D. Estrin, «An Energy efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,» *Proceedings of the IEEE Irifocom*, New York, USA, 2002.

[9] K. V. D. T. Langendoen, «An Adaptive Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,» *In ACM Coriference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys)*, Los Angeles, USA, 2003.

[10] J. Polastre, J. Hill ve D. Culler, «Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks,» *In ACM Coriference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys)*, Baltimore, Maryland, USA, 2004.

[11] El-Hoiydi, J. Decotignie ve J. Hernandez, «Low Power MAC Protocols for Infrastructure Wireless Sensor Networks,» *Proceedings of the fifth European Wireless Conference*, Barcelona, Spain, 2004.

[12] G. Chien ve C. Pei, «Low Power TDMA in Large Wireless Sensor Networks,» *IEEE Military Communications Coriference (MIL COM)*, 2001.

[13] K. Jamieson, H. Balakrishnan ve Y. C. Tay, «Sift: A MAC Protocol for Event-Driven Wireless Sensor Networks,» *MIT Laboratory for Computer Science*, 2003.



- [14] V. Rajendran, J. J. Garcia-Luna-Aveces ve K. Obraczka, «Energy-efficient, application-aware medium access for sensor networks,» *Proceedings of 2nd IEEE Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference*, Washington, DC, USA, 2005.
- [15] G. Lu, B. Krishnamachari ve C. S. Raghavendra, «An adaptive energyefficient and low-latency MAC for data gathering in wireless sensor networks,» *Proceedings of 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium*, 2004.
- [16] O. Omeni, A. C. W. Wong, A. J. Burdett ve C. Toumazou, «Energy efficient medium access protocol for wireless medical body area sensor networks,» *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, cilt 2, pp. 251-259, 2008.
- [17] N. F. Scanlon ve W. G. Timmons, «An Adaptive Energy Efficient MAC protocol for the Medical Body Area Networks,» *1st International Conference on Wireless communication VITAE*, 2009.
- [18] S. Ullah, R. Islam, A. Nessa, Y. Zhong ve K. S. Kwak, «Performance analysis of preamble based TDMA protocol for wireless body area network,» *Journal of Communication Software and Systems*, cilt 4, no. 3, pp. 222-226, 2008.
- [19] G. Dutkiewicz ve E. Fang, «BodyMAC: Energy efficient TDMA-based MAC protocol for Wireless Body Area Networks,» *9th International Symposium on Communications and Information Technology*, ISCIT, 2009.
- [20] J. D. Tan ve H. M.Li, «Heartbeat driven MAC for body sensor networks,» *Proceedings of the rt ACM 1231 SIGMOBILE international workshop on systems and networking support for healthcare and assisted living environments*, San Juan, Puerto Rico, 2007.
- [21] B. Otal, L. Alonso ve C. Verikoukis, «A New MAC Approach in Wireless Body Sensor Networks for Health Care,» in *Wireless Sensor Networks*, Anna Foerster and Alexander Foerster (Ed.), 2011.
- [22] G. Zhou, Q. Li, J. Li, Y. Wu, S. Lin, J. Lu, C. Y. Wan, M. D. Yarvis ve J. A. Stankovic, «Adaptive and radio-agnostic QoS for body sensor networks,» *ACM Trans. Embed. Comput. Syst*, cilt 48, p. 34, 2011.
- [23] G.-Z. Y. (eds), «Body Sensor Networks,» *plus 0.5 em minus 0.4 em*, 2006.
- [24] M. Chen, «Body Area Networks: A Survey,» *ACM/Springer Mobile Networks and Applications*, cilt 16, no. 2, pp. 171-193, 2011.