



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

---

### Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji-Verimli OEK Protokolleri

*Energy-efficient Mac Protocols in Wireless Sensor Networks*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet Akif ÇİFÇİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-6439-8826

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çifçi M.A “Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji-Verimli OEK Protokolleri”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1): 56-68, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji-Verimli OEK Protokolleri

Mehmet Akif ÇİFÇİ

*İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34295, Küçükçekmece/ İSTANBUL*

### Öz

Enerji verimliliği, Kablosuz Algılayıcı Ağ Ortam Erişim Kontrol protokollerinin tasarımındaki çekirdek konudur. Bu nedenle Kablosuz Algılayıcı Ağ düğümleri tasarlanırken enerji verimliliği dikkate alınmak zorundadır. Çoğu algılayıcı ağ uygulaması, birkaç yıl kadar sürebilen düğümün ömrü boyunca enerji kontrolünü ve yeterliliğini gerektirir. Bunların çevreyi izleme, veri toplama gibi ortak uygulamalar için iş birliği yapmaları gereklidir. Her bileşen mümkün olan en düşük gücü tüketir, ortalama başarılı iletim hızını sağlar, veri paketinin ortalama bekleme süresini azaltır ve ortalama enerji tüketimini düşürür. Kablosuz algılayıcı ağın yaşam süresini tamamen düğümlerin enerji tüketimine bağlıdır. Bundan dolayı algılayıcı düğümlerin enerjilerini verimli kullanmaları önemlidir. Geleneksel protokollere nazaran, Kablosuz Algılayıcı Ağlar için geliştirilen Ortam Erişim Kontrol protokolleri, ortaya çıkan enerji israfını büyük ölçüde azaltmayı amaçlamıştır. Yeni bir yönlendirme olarak Ortam Erişim Kontrol protokolü, enerji verimliliğini arttırmak ve yük dengesini sağlamak yoluyla kablosuz algılayıcı ağ ömrünü uzatmak için sunulmuştur. Bu çalışmada Kablosuz Algılayıcı Ağlarda enerji tasarrufu için geliştirilen Ortam Erişim Kontrol protokolleri ele alınıp incelenmiştir. Çalışmanın sonunda Ortam Erişim Kontrol protokollerinin eksiklikleri, var olan yöntemlerden hangisinin daha iyi olabileceği gibi önemli sonuçlara ulaşılabilecektir. Bunun yanı sıra Kablosuz Algılayıcı Ağların kullandığı protokoller incelenmiş ayrıca Ortam Erişim Kontrol katmanında enerji israfını önleyen protokoller detaylı olarak sunulmuştur. Çalışmanın sonunda, enerji israfını azaltmak için en Uygun Ortam Erişim Kontrol protokolünü belirlemek ve bu protokolün eksikliklerini gidermeye yardımcı görüşler sunulmaktadır.

### Makale Bilgisi

*Başvuru: 01/08/2018  
Düzeltilme: 02/11/2018  
Kabul: 05/03/2019*

### Anahtar Kelimeler

*Kablosuz Algılayıcı  
Ağları; Ortam Erişim  
Kontrolleri; TDÇEK/ÇT;  
ZBÇE, WiseMAC; B-MAC*

### Keywords

*Wireless Sensor Networks;  
Media Access Controls;  
CSMA/CD; TDMA;  
WiseMAC; B-MAC*

## Energy-efficient Mac Protocols in Wireless Sensor Networks

### Abstract

Energy efficiency is the main concept in the design of the Wireless Sensor Network Access Control protocols. When it comes to sensor nodes, they can communicate with each other through a wireless channel to forward the collected data into sinks, the nodes are self-organized they even organized when their topology is corrupted. Therefore, Wireless Sensor Energy efficiency is an important issue when designing network nodes. Most sensor network applications require energy autonomy over the entire lifetime of the node. These energy constraints require the system to be configured to use Wireless Sensor Networks' pile-driven programming and sensing devices. A network of these devices will cooperate for a common application such as environmental monitoring. Each component consumes the lowest possible power, provides the average successful transmission speed, reduces the average waiting time of the data package, and reduces average energy consumption. The energy consumption of the sensor nodes affects the lifespan of the wireless sensor network. Thus, the sensor nodes must use their energy efficiently. Based on the design principles of the traditional layered protocol stack, the current Media Access Control protocol, which is projected for Wireless Sensor Networks, seldom takes care for load balancing that soundly restricts the wireless sensor network lifetime. As a new study, it is proposed that the energy efficient Media Access Control protocol is introduced to extend the wireless sensor network lifetime by increasing energy efficiency and increasing load balancing.

## 1. GİRİŞ

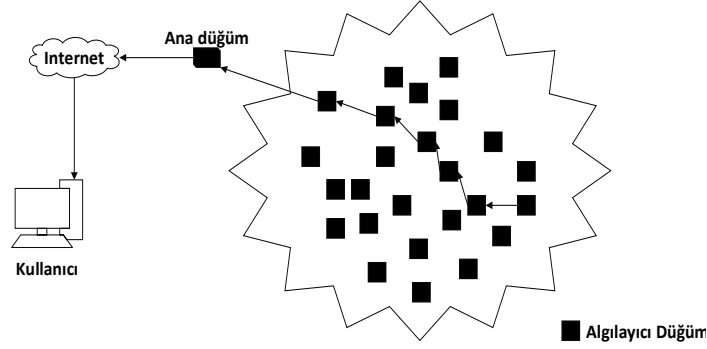
Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA, Wireless Sensor Network) farklı ortamlardaki ışık, ısı, basınç, kirlilik, nem, ses, gürültü derecesini, titreşim, varlıkların devinimleri gibi fiziksel ya da çevresel durumlarını iş birliği içerisinde gözetlemek için algılayıcı kullanan ve özerk çalışan araçlar içeren kablosuz ağlara verilen isimdir [1]. KAA'lar fiziksel ve çevresel koşulları izlemek için algılayıcıları kullanır. Bunlar mekâna bağlı olarak dağıtılmış özerk aygıtlardan oluşan kablosuz ağlardır. Bu özerk aygıtlar veya algılayıcı düğümler (AD), yönlendiriciler ve bir ağ geçidi ile birleşerek özgün bir KAA sistemini oluşturmaktadır. Her düğüm işleme kapasitesinden (mikro denetleyici) oluşur, birden fazla bellek türü içerebilir, bir Radyo Frekans (RF) alıcı vericisi ile güç kaynağı (batarya, pil) ve çeşitli algılayıcılar ve harekete geçiriciler barındırır. Düğümler kablosuz olarak iletişim kurar ve geçici moda yayıldıktan sonra kendi kendine organize olurlar. KAA sistemleri, yaşama ve çalışma şekline bakıldığında bir devrim niteliğinde olduğu söylenebilir. Bir KAA sistemi, çevrenin fiziksel şartları ve iklim ölçümleri sonucu elde edilecek bulguların uzun vadeye yayılarak bir çözüm sunması için ideal bir uygulamadır. Elektrik ve su şebekesi, sokak lambaları gibi kamu hizmetleri için kablosuz algılayıcılar, enerji kullanımını azaltmak ve kaynakları daha iyi yönetmek için sağlıklı verileri toplayarak düşük maliyetli yöntemler sunar. Ayrıca karayolları, köprüler ve tünelleri etkin bir şekilde izlemek için de KAA'lar kullanılır. Tipik bir KAA, kablosuz ortamlarda kendiliğinden organize olmuş, kendi aralarında birbirine bağlantı sağlamış ve veri alışverişinde bulunan küçük ama etkili onlarca AD'lerden oluşur [2]. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, küçük ve az enerji tüketen ve çok fonksiyonlu AD'ler geliştirilmiştir. KAA tasarlanırken karşılaşılan en önemli sorunlardan biri de enerji israfıdır. Enerji israfı KAA'ların yumuşak karnı olarak görülebilir çünkü pil her an bitebilir. Dahası, güç kaynağı pil olan AD'ler çok kısıtlı enerjiye sahiptirler. Bundan dolayı bu enerjiyi korumak, maksimize etmek ve tasarruf sağlamak KAA'larda en kritik konudur, bu durumla başa çıkabilmek için Ortam Erişim Kontrol (OEK, Medium Access Control), protokolleri geliştirilmiştir [3]; çünkü AD'lerin enerji harcamaları, KAA'nın varlıklarını sürdürmelerinden de etkilemektedir. Bundan ötürü AD'lerin enerjilerini en faydalı şekilde değerlendirmeleri KAA'ların görevlerinin devamı konusunda hayati değere sahiptir. Enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın temel amacı enerji verimliliğini artırma yönetmelerine katkı sağlamaktır.

Bu makale aşağıdaki sıra ile sunulacaktır: Bölüm 2'de KAA'larda sistem mimarisi anlatılacaktır. Bölüm 3'te, algılayıcı düğümler hakkında kapsamlı bilgi sunulmaktadır. Bölüm 4'te, KAA'larda OEK protokol yapısından bahsedilmektedir. Bölüm 5'te, KAA'lar ile OEK yapısının genel bakışı incelenecektir. Bölüm 6'da OEK protokollerinde karşılaştırmadan bahsedilirken, Bölüm 7'de protokollerde enerji verimliliği karşılaştırması yapılmış olup bir tabloda özetlenmiştir. Bölüm 8'de ilgili sonuçlar verilmiştir.

## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ

KAA, sıcaklık, basınç veya bağıl nem gibi fiziksel parametrelerin ölçülmesi ve sistemin gözlemlenmesi için oluşturulmuş çok sayıda dağıtık küçük AD'lerden oluşur. AD'ler sınırlı hesaplama gücü, bellek kapasitesi ve sınırlı iletişim yeteneğine sahiptir. KAA'lar kutulum kolaylığı ve her yere ulaşabilmelerinden çokça tercih edilmektedirler.

Kablosuz sistemlerdeki ilerlemeler düşük ücretli, daha az enerji harcayan, çok fonksiyonlu ebat olarak küçük algılama araçlarının meydana gelmesini mümkün kılmıştır. Bahsi geçen araçların binlercesinin aracılığıyla “ad hoc” ağlar meydana gelmektedir. Bu aygıtlar uçsuz bucaksız bir alana serpiştirilerek fiziksel bağlantısız, “ad hoc” bir ortam birleşmesi meydana gelmektedir. Gelişigüzel yerleştirilen “ad hoc'lar” ve ağı meydana getiren algılayıcı, iş birliği gerçekleştirerek bir algılama ağ sistemini meydana getirmektedir [4]. Algılayıcı ağlar veriye anında ve istenilen yerden rahatça ulaşılmasını mümkün kılar. Bunları, veri üzerinde çeşitli işlemler yaparak gerçekleştirir. Bu sayede KAA çok etkin bir şekilde kullanılmış olur. KAA'lar bakım ve onarıma ihtiyacı olmayan, insan müdahalesine gerek duymayan birbirinden bağımsız kolektif çalışabilen pek çok AD'den meydana gelebilir. Sadece tek başına bir düğümün kapsama alanı küçük olsa da, yoğun olarak dağıtılmış AD'ler eş zamanlı ve iş birliği prensibiyle çalışır, böylece ağın kapsamı genişletilmiş olur [5]. Şekil 1'de bir KAA mimarisi görülmektedir. AD'ler çevreye yayılmış ve otomatik topoloji oluşturmuştur. AD'ler geçityolu (gateway) vasıtasıyla ana düğüm (sink)'e oradan da baz istasyonuna veri akımı gerçekleştirmektedir. Ağ alt yapısı doğrudan uygulamaya bağlanmıştır.



Şekil 1. Kablosuz Algılayıcı Ağı

AD'ler büyük makro algılayıcılar geleneksel algılayıcı sistemlerin aksine çok iyi randıman sağlar, çünkü geleneksel sistemlerde kullanıcıya kadar kablolar kullanılmak zorunda. Öyle ki; eğer bir makro algılayıcıda arıza oluşur veya yaptığı iş yarıda kesilirse; geleneksel sistemde algılayıcının fonksiyonu bulunduğu alanda tamamen çökerken, aynı alan içerisinde bulunan KAA'larda mikro algılayıcının az bir bölümünde hata verse dahi AD'ler veri oluşturmayı sürdürürler; çünkü AD'lerde hata toleransı (fault tolerant) mümkündür. Ek olarak her AD, kablosuz bağlantı becerisine ve sinyal işleme ile veri yaymaya yetecek donanımına yetkin olarak üretilir. Sınırlı enerji, işlem gücü ve iletişim kaynaklarına sahip olunmasından mütevellit, alan her nasıl olursa olsun yüksek verimlilik için çok sayıda AD'nin kullanımı esastır [6].

KAA kurlumu yapıldıktan sonra, bir AD'nin pilinin bittiği veya bozulduğu ya da araya başka bir engelin girdiği, dahası bu engel yüzünden iletişimin kesildiği varsayırsa, bu AD'ye veri gönderen veya veri bekleyen diğer algılayıcılar, durumu anlar ve o bölgede topolojinin yeniden düzenlenmesini organize eder. Yani bozuk AD'den geçecek tüm bilgiler yeniden yönlendirilir ve bozuk olan AD ile tüm bağlantılar koparılır.

### 3. ALGILAYICI DÜĞÜMLERİN YAPISI

AD'lerin genel yapısı algılama, işlem, alıcı/verici ve güç ünitelerinden meydana gelmektedir [7]. Şekil 2'de AD'lerin genel yapısı görülmektedir. Bunlardan Mikro denetleyici, veriyi işler ve AD'lerin içerisindeki diğer bileşenlerin işlevselliğini kontrol eder [8]. Alıcı verici, AD'lerin ISM (SBT, bilimsel ve tıbbi cihaz bant) bandından yararlanır. Güç kaynağı, AD'lerdeki enerji sarfiyatını hesaplar. AD'lerde veri iletişimi için enerji harcaması daha fazlayken algılama ve veri işleme için daha azdır. Bir kilobayt datayı yüz metrelik bir mesafeye aktarmak için gereken enerji seviyesi, takriben saniyede yüz milyon komut işleyen bir işlemcide 3 milyon komut işlemek için ihtiyaç duyulan enerjiye eşit olduğu söylenebilir [9].

Algılama ünitesi, nem, basınç, ısı benzeri fiziksel birimleri algılayıp işlem ünitesinin kavrayacağı nicel sinyallere çevirmektedir. İşlem birimi, AD'yi yöneten kısımdır. Alıcı Verici birimi, AD ile KAA arasında iletişim olanağını sunar. Güç birimi, AD'nin en önemli kısmıdır. AD' de bulunan diğer birimlerin güç ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2).



Şekil 2. AD'nin genel yapısı

Güç biriminin daha fazla dayanması veya AD'nin varlığını daha fazla sürdürmesi için bazen batarya (pil) eklenmektedir. Bazı uygulamalarda algılanan verilerin işlenmesi için yol bulma birimine gereksinim vardır. Öngörülen yönlendirme protokolleri AD'lerde yol bulma sisteminin bir gereksinim olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, hareket eden AD'ler için mevki değiştiricilerin kullanılması da önerilmektedir. Enerji açısından verimli bir OEK protokolü, enerji israfına neden olan dört temel sorunu:

boşta dinleme (idle listening), aşırı duyma (overhearing), çarpışma veya bozulma ve kontrol paketi yükünü en aza indirmeyi amaçlar.

#### 4. ENERJİ İSRAFININ ÖNEMLİ NEDENLERİ

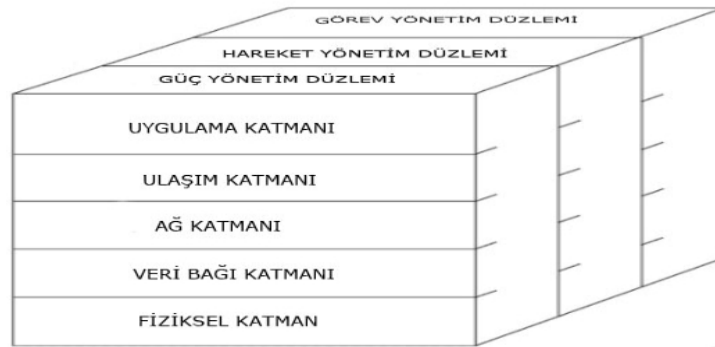
Tablo 1’de KAA’larda ortaya çıkan enerji israfı anlatılmaktadır. Akyıldız vd., (2002)’nin belirttiği gibi OEK katmanında meydana gelen fazla enerji tüketimi, çoğunlukla paketlerin sayıca çok olmasının yanı sıra, ortamın gereksiz yere dinlenmesi, gereksiz veri alımı ve en önemlisi çakışma gibi durumlar nedeniyle oluşmaktadır. Ortamın gereksiz yere dinlenmesi çok büyük miktarda enerji israfına neden olmaktadır [3], işi olmayan AD’lerin uyku duruma geçmek yerine ortama kulak misafiri olup, istem dışı veri alması halidir. Yani küme (cluster)’de bulunan tüm AD’lerin kendisi ile alakalı olmayan mesajları da alıp iletmesidir. Bu da enerji israfına neden olmaktadır. Ayriyeten alınan paketlerin gönderilmesi esnasında çakışması gibi enerjiyi çok fazla tüketen durumların ortaya çıkması olağandır. Sonuç olarak AD’nin ömrü hızlı bir şekilde azalır; buna bağlı olarak da KAA’da tükenmiş olur.

**Tablo 1.** KAA’larda enerji israfı nedenleri

|   |
|---|
| Boş dinleme: Düşümlerin gönderecek veya alacakları bir şeyi olmadığında, düşümler hala etkin durumda kalır ve ağı boşa dinlerler. Bu işlem, gönderme veya alma işlemi sırasındaki gibi yine eşit miktarda enerji tüketir. Böylece enerji israfına yol açar.   |
| Çarpışma veya Bozulma: Normalde çarpışma, komşu düşümlerin serbest ortam için yarıştıklarında ortaya çıkabilir ve kayıplı kanal iletilen paketlerin bozulmasına neden olur. İki durumdan biri meydana geldiğinde bozulmuş paketler yeniden gönderilmelidir ki; bu durum da enerji tüketimini artırır. |
| Aşırı Duyma: Bir düşüm diğer düşümlere yönlendirilen bazı paketleri aldığı anda olur.   |
| Kontrol Paketi Yüğü: Gönderen ve alıcı arasındaki kontrol paketlerinin alışverişi de kısmen enerji tüketir.   |

#### 5. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN PROTOKOL YAPISI

KAA’da kullanılan protokol yapısı Şekil 3’te görülmektedir. “Protokol yapısı, güç ve yol bulma benzeri özellikleri de içinde bulundurmaktadır. Protokol yapısı, fiziksel katman, veri bağı katmanı, ağ katmanı, ulaşım katmanı, uygulama katmanı, güç yönetim düzlemi, hareket yönetim düzlemi ve görev yönetim düzlemi olarak bölümlendirilmiştir [10].” Şekil 3’de görüldüğü üzere fiziksel katman, frekans seçimi, modülasyon, veri şifreleme ve iletilmesinden sorumlu olan katmandır. Veri bağı katmanı, OEK hata kontrolü, veri akışının çoklanması olaylarından sorumlu olan kısımdır. Kablosuz ortamındaki gürültü ve AD’lerin hareketli olmasından dolayı, OEK protokollerinin güç yönetimi ve komşularda yapılan yayınlara karşı çarpışmalarını en aza indirme elzemdir.



**Şekil 3.** KAA’da kullanılan protokol yapısı

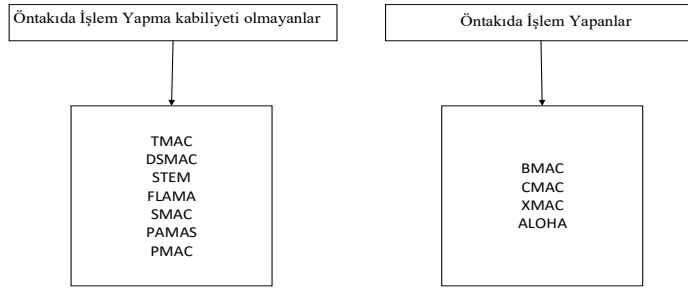
Ağ katmanı, ulaşım katmanı tarafından iletilen verinin yol bulma işlemiyle ilgilenmektedir. Ulaşım katmanı, veri akış kontrolü yapar. Algılama işlemleri sayesinde farklı tipte uygulamalar geliştirilebilir. Bu uygulamalar, uygulama katmanı sayesinde kullanılmaktadır [10]. Bu katmanların ardı sıra protokol mimarisinde, hareket, güç ve iş bölümü düzlemleri mevcuttur. Bu düzlemler sayesinde, AD’lerin algılama işlemlerini biçimlendirilecek ve enerji tüketimi en aza düşürülecektir. Güç yönetim düzlemi, AD’nin güç kullanımını yönetmektedir. AD, aynı küme içinde bulunan herhangi bir komşu düşümden paketi aldıktan sonra RF’nin kapatılması sonucu, aynı paketin tekrar alınması önlenecektir. AD’nin enerji seviyesi alt eşik değerinin altına düşerse, komşu AD’lere mesaj göndererek kritik seviyede olduğunu bildirebilir. Bu sayede

AD kalan enerjisini sadece algılama işlemi için kullanır. Hareket yönetim düzlemi, AD'lerin hareketlerini algılayarak kaydetmektedir. Bu sayede komşu AD'leri ve geri dönüş yolunu rahatlıkla bulunmaktadır. Komşu AD'lerin bilinmesi, AD'nin görev ve güç yönetimini de dengelemektedir. Görev yönetim düzlemi, AD'lerin algılama alanında yapacakları algılama görevlerini paylaşmaktadır.

Zheng Teng, Ki-Il Kim (2010)'in de çalışmalarında değindiği gibi yönetim düzlemleri, AD'lerin güçlerini verimli bir şekilde kullanmalarını, hareketli KAA'da verinin yol bulmasını ve AD'ler arasında kaynakların paylaşımını sağladıklarından KAA için büyük bir öneme sahiptir. Kablosuz ortamın gürültülü ve AD'lerin hareketli olmasından dolayı, OEK protokolünün güç yönetimi ve komsularda yapılan yayınlara karşı çarpışmaları minimize etme özelliği taşımaktadır.

## 6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE ORTAM ERİŞİM KONTROLLERİ

OEK, kablosuz iletim ortamının düğümler arasında etkin bir şekilde paylaştırılmasını sağlayan bir mekanizmadır. OEK katmanı, veri paketlerinin parçalanması, hata iyileştirme, hareket yönetimi, güç koruma ve şifreleme gibi işlemleri kapsamaktadır. OEK adresleri, Ethernet tabanlı ağları işleyen düşük seviyeli temellerdir. Ağ kartlarının her biri benzersiz bir OEK adresine sahiptir. Ethernet üzerinden gönderilen paketler her zaman bir OEK adresinden gelir ve bir OEK adresine gönderilir [11]. Bir ağ bağıdatırıcısı bir paket alıyorsa, paketin hedef OEK adresini, bağıdatırıcının kendi OEK adresiyle karşılaştırır. Adresler eşleşirse paket işlenir; yoksa paket düşürülür. KAA'da henüz standart bir OEK protokolü bulunmamaktadır. KAA'da enerji kullanımının büyük bölümü RF'lerce harcanmaktadır bu nedenle iletişim esnasında RF'lerin kapatılması tasarruf için önemlidir. Şekil 4'te öntakı parametresi temel alınarak bir sınıflandırmaya yapılmıştır. Burada OEK'inde enerji verimliliği için geliştirilen protokollerin tam olarak veri iletişimlerini nasıl gerçekleştirdikleri ve nasıl fayda sağladıkları açıklanmıştır [12].



Şekil 4. OEK protokollerinin sınıflandırılması

### A- Ortam Erişim Kontrolleri Katmanı Protokolleri

Kablosuz bir algılayıcı ağda, OEK Katmanı protokollerinin aşağıdaki görevleri yerine getirmesi beklenir:

Bir altyapı oluşturmak ve veri aktarımı için bağlantı kurmak.

AD arasındaki ağ iletişim kaynaklarını paylaşmak.

OEK katmanı, paylaşılan ortama erişimden sorumludur. Paylaşılan ortama ne zaman erişileceğine karar vermek için düğümlere yardım eder. OEK Protokolleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

#### a- Belirlenmiş:

Bu, Zaman Biriminde Çoklu Erişim (ZBÇE, Time Division Multiple Access) protokolüne dayanmaktadır. Bu mekanizmada kanal ayarlanmış zaman aralıklarına bölünür. Bu aralıkların tam bir devrine çerçeve adı verilir. Çarpışma, Boş Dinleme ve Aşırı Dinleme nedeniyle israfı azalttığı için ZBÇE protokolleri doğal olarak enerji tasarrufu sağlar.

#### b- Rastgele:

Bu, Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim Kontrol/ Çakışma Tespit (TDÇEK/ÇT, Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) protokolüne dayanmaktadır. Rastgele erişimli protokollerde, kanal talep üzerine düğümlere paylaştırılır. Yani düğümler kanal için yarışır ve kanalı serbest bulursa, iletim başlatır, aksi takdirde iletim boşa gelene kadar ertelenir ve kanalı iletme şansını elde etmek için kanalı algılar.

### B- Kablosuz Algılayıcı Ağlar üzerine uygulanan Ortam Erişim Kontrolleri Protokolleri

### a- Düşük Enerji Uyarlanabilir Kümeleme Hiyerarşisi

Düşük Enerji Uyarlanabilir Kümeleme Hiyerarşisi (DEUKH, Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy), KAA'daki ilk alt küme tarzı yönlendirme protokolleridir [13]. DEUKH enerji tasarrufu sağlar çünkü veri sıkıştırma teknikleri ve alt küme dinamik yönlendirme teknolojisi kullanır.

**Tablo 2.** DEUKH algoritmasının iki durumdan oluşur

|  |
|--|
| Kurulum Durumu: bu aşamada bu tur için bir küme başlığı seçilir. |
| Denge Durumu: Bu aşamada, düğümler küme başlığına veri gönderir. |

Küme başlığı düğümü rastgele seçilir; Ağ yükünü dengeler v. Bir düğümün küme düğümü olma olasılığı şu şekilde verilir:

$$P(p) = \begin{cases} \frac{Y}{1 - y * (t \bmod \frac{1}{Y})_{veya}} & \text{eger } n \in Z \\ 0 & \end{cases}$$

Y tüm küme başlığının yüzdesidir, t mevcut seçim turu sayısıdır, t mod (1/Y) bir çevrimdeki küme başı düğümlerinin sayısı olarak seçilir, Z, küme başlığı düğüm seti seçilmez.

DEUKH eksiklikleri şöyle sıralanabilir: Belli bir zaman sonra yeniden bir küme başı düğümü haline gelmek için, bir küme başlığı olarak seçilen bir düğümün olasılığı bir sonraki geri dönüşüm turunda 1/y olacaktır. Ayrıca, her düğümün başlangıç enerjisi eşit kabul edilir ve bir düğüm küme başlığı olarak seçildiğinde enerji tüketimi eşittir.

### C- Çoklu Ebeveyn Metodu

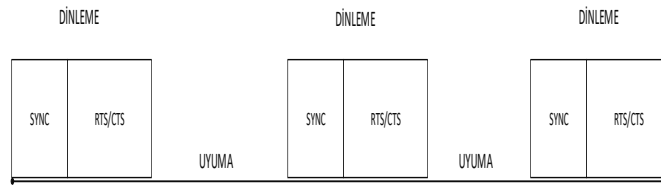
Çoklu-Ebeveyn (Multi Parent) yöntemi, enerji tüketimini azaltmak için uyanık zamanlama yöntemini kullanırken, verilerin karşılaşacağı gecikmeyi azaltma avantajına sahiptir. Öte yandan, ağdaki herhangi bir düğüm için ebeveynlerin belirlenmesi, birçok işlem döngüsü gerektiren bir algoritmadır.

#### 1- Pendulum-MAC

Pendulum-MAC (P\_MAC) sistem katmanlar halinde düzenlenir ve her bir katmanda, düğümlere veriyi AD'ye bildirmek için uyanık oldukları zaman dilimleri atanır. İzleme için coğrafi bölgede dağıtılmış olan AD'leri, uyanık bir zamanlama izler [14]. Bu, AD'lerin bulunduğu konuma göre ne zaman uyanmayı ve ne zaman uyku moduna geçileceğini belirleyeceği anlamına gelir. Fakat büyük bir dezavantaj, uzun süreler boyunca verilerin toplanmasının gecikmesi olan bu teknik ile ters düşmektedir. Ayrıca çalışması için belirli bir yoğunluğa ihtiyaç duyar, bağlı bir ağ oluşturmak için daha yoğun bir ağa ihtiyaç duyar. Bu nedenle küçük ağlar için uygun değildir.

#### 2- S-MAC (Algılayıcı-MAC)

Algılayıcı MAC, kablosuz algılayıcı ağlar için özel olarak tasarlanmış çekişme tabanlı bir protokoldür. Temel ilkesi TDÇEK/ÇT'ye dayanmaktadır. Boş dinlemeyi önlemek ve enerji israfını azaltmak için periyodik bir "Dinle ve Uyu" yöntemini kullanır. Her bir düğüm, periyodik bir uykuyu ve dinleme çizelgesini Şekil 4'te gösterildiği gibi izler. Dinleme döneminde, düğüm ağı algılar, boşta bulursa, dinler ve diğer düğümlerle iletişim kurar. Uyku dönemi geldiğinde, düğüm telsizlerini kapatarak uyku moduna geçer. Bu, boş dinleme için harcanan süreyi önemli ölçüde azaltır. Bu protokolda, düğümler, iletişim kurmak için RTS (Gönderme için hazır), CTS (Gönderme için temiz) ve Veri Onaylama (ACK) kullanır. Bir düğüm, başka bir düğüm için gönderilmiş bir RTS veya CTS paketi bulduğunda, uyku moduna geçer [15]. Bu periyodik bir süreçtir. S-MAC, enerji tüketimini düşüren düşük bir görev döngüsü işlemi önermektedir. Dinleme ve uyku periyodunun tam bir döngüsüne çerçeve denir. Uyku süresi boyunca, düğüm mümkünse telsizini kapatacaktır. Bu yolla, özellikle trafik yükü hafif olduğunda, gereksiz boş dinlemeden kaynaklanan büyük miktarda enerji tüketimi önlenir.



**Şekil 5. S-MAC Protokollü:**

Ağdaki düğümler, komşu düğümüyle sanal bir küme oluşturur ve dinleme ve uyku dönemi için bir senkronizasyon programı paylaşır. Böylece bir ağda birden fazla küme olabilir. Farklı kümelerde düğümler komşusunu bulmak için periyodik SYNC paketi kullanırlar. Bu işleme PNK (Periyodik Komşu Keşfi) adı verilir. Ayrıca Algılayıcı OEK protokolü KAA'lar için çakışmadan meydana gelebilecek gecikmeyi azaltmak için mesaj iletiminden faydalanır. Mesaj iletimi sayesinde büyük paketlerin ufak parçalara ayrılarak gönderilmesine olanak sağlar. Dahası ortaya çıkacak herhangi bir çakışmadan kaçınma için birleşik planlama yapılır. Gecikme ise AD'lerde hangi uygulamanın çalıştığına göre önem kazanır. Şayet gelen giden akış yok ise ortaya çıkacak olan veri çok düşük olacaktır. Bundan dolayı çoğu zaman AD'ler boş durumdadırlar. Düğümlerin kooperatif bir şekilde çalışması ve alışveriş yapabilmesi için çok iyi bir senkronizasyon gerekmektedir.

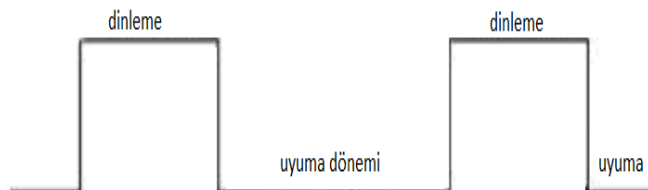
**Tablo 3. S-MAC protokolü, enerji sorununu azaltma**

|  |
|--|
| Periyodik dinleme, uyku planı, boşta dinlemeden kaçınma.   |
| Aşırı duyma sorunu giderme, her düğümün uyku durumuna geçirilmesi için kanal içindeki sinyalleşmeyi kullanarak önlenir.                          |
| Çarpışmayı önlemek için periyodik SYNC paketlerinden yararlanma.   |
| S-MAC, bir mesaj geçişi için bir çift RTS / CTS kullanır ancak her parça için bir ACK talep eder. Bu kontrol paketi yükünü büyük oranda azaltır. |

### 3- T-MAC Protokollü

“T-MAC (Timeout Medium Access Control- Zaman Aşımı Ortam Erişim Protokolü) protokolü TDÇEK tabanlı bir protokolüdür” [16]. S-MAC protokolünden esinlenilerek tasarlanmıştır. T-MAC boşta dinlemeyi KAA'lar için en aza indirmektedir. Aynı uzunluktaki görev çevriminin, etkin olan bir devrin çalışmaya devam edip etmeyeceğine karar vermesi bir zamanlayıcı yardımıyla belirlenir [17]. Diğer bir deyişle kanalda hiçbir şey işitilmediğinde görev sonlandırılmaktadır.

T-MAC'da tüm mesajlar değişken uzunlukta bir sürede gönderilir ve uyku/uyanıklık süresi olarak adlandırılan patlamalar arasında bir boşluk bulunur. Bu, boş dinlemeyi azaltmaktır. Düğüm, komşularla iletişim kurmak için periyodik olarak uyanır ve çarpışma önleme ve güvenilir iletişim sağlayan RTS ve CTS, Veri Onaylama şemasını kullanır [18]. Burada mesajlar bir tamponda depolanır ve daha sonra Şekil 4'te gösterildiği gibi aktif zaman boyunca mesajları içeren bir mesaj gönderilecek bir çerçeve oluşturulur. Aktif zaman, TA süresi için aktif bir olay olmadığında ve düğüm uyku moduna geçtiğinde sona erer. Bu anda yüksek yüklü düğümler uykuda olmadan sürekli iletişim kurar. Erken uyuma problem dezavantaj olarak görülebilir.

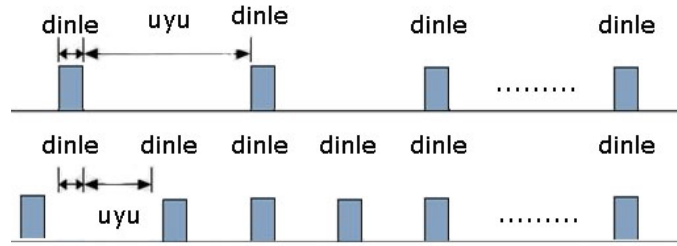


**Şekil 6. T-MAC Protokollü**



#### 4- DSMAC Protokollü

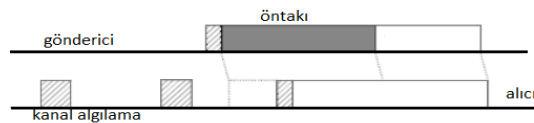
“DSMAC (Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks- Algılayıcı Ağlar İçin Dinamik Görev Çevrimli Ortam Erişim Kontrolü) protokolü S-MAC protokolünden esinlenmiştir. DSMAC, iki performans metriği arasında fazla ek yükü karşı karşıya gelmeden iyi bir değiş tokuş sağlamaktadır [19]. İlâveten DSMAC uygulama gereksinimlerinin daha önceki kayıt altına alınan verilere gereksinim duymadan değişen trafik koşullarındaki iş çevrimlerini ayarlayabiliyor. Şayet periyodun sonuna kadar bir SYNC paketi gelmez ise, DSMAC’te düğümler kanaldaki tek aktif algılayıcı olduğunu varsayarak burada istedikleri planı özgürce seçer. Bu doğrultuda ortamda bulunan diğer AD’lere kendi planlarını uygulamaları için SYNC paketlerini gönderirler. AD’ler komşu düğümler için bir SYNC tablosu muhafaza eder. Düğümler çakışmadan kaçınmak için karşı kanalda bulunan diğer düğümlere muhafaza ettikleri SYNC tablosunu gönderir. Bu SYNC tablolarında düğümlerin uyuma ve uyanma saatleri mevcuttur. Düğümler SYNC paketi sinyali duyduğu anda, kendi senkronizasyon tablosunu günceller ve kendi zamanlayıcısını SYNC paket oluşturucusuna göre ayarlar. Alıcı düğümün minimum gecikmesi o anki SYNC periyodunda mevcut bütün hop (sekme) gecikme değerlerinin eşittir. DSMAC protokolü (Bkz. Şekil 8) çift evreli ayarlama modülü kullanılmaktadır. Bunun dışında her alıcı düğüm ayrıca kendi enerji tüketim verimliliği ve ortalama gecikmenin kaydını tutmaktadır [19].



Şekil 7. DSMAC Mimarisi

#### 5- B-MAC Protokollü

B-MAC (Berkeley Medium Access Control Protocol- Berkeley Ortam Erişim Kontrol Protokollü) TDÇEK tabanlı bir protokoldür. B-MAC düşük güç fonksiyonunu sahip olmak amacıyla, adapte edilebilir öntakı örnekleme planından yararlanmaktadır. Bu vesileyle görev çevrimi ve boşta dinleme en düşük olacak hale getirilebilmektir. B-MAC işlemeye başladığı anda yine yapılandırmayı desteklemekte ve performansı ayarlamak amacıyla çift yönlü ara yüzü mümkün kılmaktadır [20]. B-MAC protokolü mesaj iletimi için çok uzun öntakı kullanılmaktadır. Öntakının büyük olması, rötar bakımından optimum karşılıklı değişim oluşacağı anlamına gelmektedir. B-MAC, TKG (Temiz Kanal Görevlendirmesi, Clear Channel Assesment), kanal çözümlemesi için paket geri çekilmesi, güvenlik için bağlantı katmanı alındı bilgilendirmesi, düşük güç iletişimi için düşük güç dinleme planını kullanılmaktadır. Başlangıç geri çekilmesinin ardından, TKG çelişik değer algoritması aktif hale gelmektedir. Kanal trafik açısından uygun olmadığında, bir vukuat tıkanıklık geri çekilme süresi için servisi uyarır. Bu durumda geri çekilme zamanı sağlanmazsa, ufak gelişigüzel geri çekilme tercih edilmektedir. B-MAC'te tercih edilen teknik Aloha'daki öntakı örneklemenin aynısı ancak başka radyo karakteristiğine uygun hale getirilmiştir [21]. B-MAC protokolünde enerji kullanımını azaltmak için sinyal kuvvetinin kullanımına yönelik bir eşik değeri belirlenir. Güvenli bir halde bilgi elde etmek amacıyla başlangıç öntakısı uzunluğu, kanalda bir etkinliğin gerçekleşip gerçekleşmediğini kavrama aralığına senkronize olur. Geleneksel kablosuz ağlarda mevcut olan gizli terminal sorunu bu protokolün de sorunlarından biridir.



Şekil 8. B-MAC Mimarisi

#### 6- WISE-MAC Protokollü

WiseMAC kurulum sinyali gerektirmez, şebeke çapında senkronizasyon gerektirmez ve trafiğin yüküne uyarlanır. Düşük trafik koşullarında çok düşük güç tüketimi ve yüksek trafik koşullarında yüksek bir enerji

verimliliği sunar. Bu tasarım başlangıç aşamasında AED’de (asgari enerji ile dinleme, low power listening) olduğu gibi başlangıç sinyali ile alıcı düğümleri veri paketini alacak konuma getirir. Veri paketini alan hedef düğümler cevap olarak “alındı” paketini yollar [22]. Bu “alındı” paketi verinin düzgün alındığı bilgisinin ötesinde düğümün bir sonraki örnekleme zamanı bilgisini de taşır. Böylelikle paket yollayan düğüm bir sonraki başlangıç sinyalini bu süre ve olası saat sapmalarını hesaplayarak düğüm örnekleme başlamadan hemen önce yollamaya başlar ve düğümü uyardığından emin olduktan hemen sonra da normal veri paketini göndermeye başlar. Böylelikle hem alıcı hem verici tarafındaki güç tüketimi azaltılmış olur. Aynı alıcıya birden fazla göndericinin olduğu durumlarda, veri paketlerinde çarpışmalar oluşabilir. Bunu engellemek için gönderici düğümler uyandırma amaçlı gönderdikleri başlangıç sinyalinden hemen sonra rasgele uzunlukta başlangıç sinyali yollarlar. En uzun süreli sinyali gönderen veri paketi gönderme hakkını kazanır.



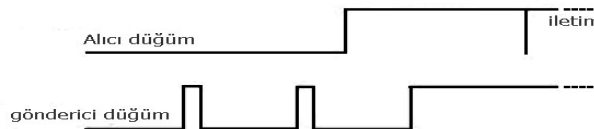
Şekil 9. WiseMAC protokolü

#### 7- STEM Protokollü

Schurgers vd., tarafından önerilen Seyrek Topoloji ve Enerji Yönetimi (STEM, Sparse Topology and Energy Management) protokollünde iki farklı kanal kullanılır. Bunlar Çağrı ve Radyo kanallarıdır. Çoğunlukla, ağın izleme halinde bulunması beklendiği için sadece çağrı kanalı kullanılır. Mesela acil bir halde bilgi kanalında kullanılan yol, iletişim, bilinen kablosuz protokolleri kullanarak meydana gelir ve ağ süresince aktiftir. STEM’de çağrı kanalı, çağrı paketini elde etmek amacıyla ihtiyaç duyulan zaman zarfında sistemli bir şekilde kanalı dinler ve alıcı vasıtasıyla uygulama gerçekleştirilir. STEM kapasite korumasını yapmaz, böylece enerjinin kayda değer bir şekilde az kullanılmasını mümkün kılar ve yönlendirme konusunda olası bir negatiflik oluşturmaz. Bahsi geçen protokolde en kayda değer özellik düğümlerin bağımlı olmayan bir halde boşta dinlenme modunda olabilmesidir. STEM protokolünde enerjinin gereğinden fazla kullanımını engellemek amacıyla, uyku modundaki komşu bir AD kısa bir iletile ve enerji tasarrufu sağlayarak aktif hale getirilir. İki AD’de radyolarını aktif hale getirmek amacıyla bir bağlantı meydana getirdiklerinde, bağlantı faaldir ve sonraki paketler için uygun durumdadırlar. Güncel veri iletimi uyandırma protokolü ile karışmaması için STEM farklı frekans bandı kullanır, yani her bant için farklı RF’den yararlanır [23].

#### 8- Aloha ile Öntakı Örnekleme

Aloha ile öntakı örnekleme protokolü, Aloha protokolünü ve öntakı örnekleme yöntemini birleştiren bir protokoldür [24]. Öntakı örnekleme metodunun amacı, kanal bosken ALICININ çoğu zaman uyku modunda kalmasına izin vermektir. Bu her paketin önünde belirli bir uzunlukta bir öntakı aktarımı içermektedir. Bir alıcı belirli sürelerde periyodik olarak uyanır ve kanaldaki faaliyetleri kontrol eder. Eğer kanal boşsa, alıcı tekrar uyur. Eğer bir öntakı kanalda varsa, alıcı uyanık kalır ve paket alınana kadar dinlemeye sürdürür. Aloha ile öntakı örneklemesinin özellikleri bir araya getirildiğinde, ortamı gereksiz dinleme için harcanan zamanı [25] en aza indirmektedir. Yani gönderici düğüm, yapılmak istenen aktarımın başarılı olup olmadığını, tamamlanıp tamamlanmadığını anlamak için alıcıdan mesaj bekler. Aloha protokolünde sorun ortamın gereksiz yere dinlenip enerji israfına neden olmasıdır [26]. Çözümü ise düşük güç dinleme yönteminden yararlanmaktır. Gelen mesajların örneklenebilmesi için mesajın içinde bulunan başlık, daha sonraki mesajların alıcısını belirlemek için bir öntakı kullanılmaktadır. İletilen öntakı, alıcı tarafından işitilmezse, bir dahaki örneğin gelme zamanına değin RF kullanılmamaktadır. Öntakı örnekleme metodu, kanalın yüklü olduğuna dair bilgilendirme yapan protokoldür.



Şekil 10. Aloha öntakı Mimarisi

## 7. OEK PROTOKOLLERİNDE KARŞILAŞTIRMA

KAA'larda enerji israfını önleme ve enerjiyi verimli kullanma önemli ve gerekli bir konudur. OEK protokolleri detaylı olarak incelendiğinde enerji verimliliği konusunun ehemmiyeti bir kez daha anlaşılmaktadır. Bu çalışmada enerji verimliliği sağlayan OEK protokolleri teker teker incelenip karşılaştırma yapılması sonucunda, enerji verimliliği için ilgili protokoller için birçok değişik mekanizma kullanıldığı anlaşılmıştır. Tablo 4'te gösterilen protokoller, temel aldıkları parametrelere ve öntakı kullanıp kullanmadığına göre karşılaştırılmıştır. OEK katmanında gerçekleştirilen protokollerin çoğunluğunun TDÇE yöntemini benimsedikleri anlaşılmaktadır; fakat son dönemlere doğru özellikle öntakı kullanan protokolleri ise ZBÇE yönetiminden yararlandığı aşikârdır. Bazı protokoller ya kendi planlarını ya da elde ettikleri planlar dâhilinde senkronizasyonu sağlayıp, enerji israfını önleyip enerji verimliliği sağlamışlardır. Tablo 4'te gösterilen protokollerin hepsinde benzetimi var iken; çoğunun öntakıda işlem yapma yeteneği bulunmamaktadır. Öntakı ile enerji verimliliği sağlamak çok önemlidir. Bundan dolayıdır ki bu çalışmada protokoller iki kısma bölünmüştür. Bunlar, enerji verimliliğini öntakı kullanarak sağlamaya çalışanlar ve öntakı kullanmadan sağlamaya çalışan protokoller diye. Böylelikle OEK'de hangi protokolün nasıl bir metot izlediği anlaşılabilir.

**Tablo 4. OEK Protokollerin Karşılaştırması**

| Protokol Adı | Dayanak Temel | Kontrol Paketi | Plan Şeması       | Benzetim Var/yok | Öntakı İşlemi |
|--------------|---------------|----------------|-------------------|------------------|---------------|
| FLAMA        | ZBÇE          | -              | Planlı            | Var              | Yok           |
| PAMAS        | TDÇE          | RTS/CTS        | Plansız           | Var              | Yok           |
| SMAC         | TDÇE          | RTS/CTS        | Planlı            | Var              | Var           |
| DSMAC        | TDÇE          | RTS/CTS        | Planlı            | Var              | Yok           |
| BMAC         | TDÇE          | -              | Plansız           | Var              | Var           |
| ALOHA        | ALOHA         | -              | Planlı<br>Plansız | Var              | Var           |
| XMAC         | TDÇE          | -              | Planlı            | Var              | Var           |
| CMAC         | TDÇE          | RTS/CTS        | Planlı            | Var              | Var           |
| TMAC         | TDÇE          | RTS/CTS        | Planlı            | Var              | Yok           |
| STEM         | TDÇE          | -              | Plansız           | Var              | Yok           |
| ZMAC         | TDÇE<br>ZBÇE  | -              | Planlı            | Var              | Yok           |
| P-MAC        | TDÇE          | RTS/CTS        | Planlı            | Var              | Yok           |
| WiseMAC      | TDÇE          | -              | Planlı            | Var              | Var           |

## 8. OEK PROTOKOLLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

KAA'lar için enerji verimliliği çok önemli ve gerekli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Detaylı olarak açıklanan OEK protokolleri incelendiğinde enerji verimliliği konusunun önemi daha kolay anlaşılmaktadır. Detaylı açıklanan protokollerin hepsi bir şekilde enerji verimliliği sağlamaktadır. Bu enerji verimliliği için ilgili protokoller birçok değişik mekanizma kullanmışlardır. Tablo 5'te açıklanan protokollerin enerji bazında karşılaştırılmaları yapılmıştır. Enerji verimliliği sağlamak için değişik yöntemler yoluyla KAA'larda pil ömrünü arttırmaya çalışılmıştır. Ayrıca, enerji verimliliği sağlayan protokoller Tablo 5'te gösterilmiştir. Buna göre standart iyi bir protokolden bahsetmek mümkün görünmemektedir. Her protokol farklı özelliklerle donatılmıştır.

**Tablo 5. OEK Protokollerinde Enerji Karşılaştırması**

| Protokol ismi | Kullandığı Şema   | Senkr onize | Enerji Durumu  | Gecikme                                |
|---------------|---|-------------|--|--|
| B-MAC [30]    | Düşük Güç Dinleme, kanal değerlendirmesi, yazılım arayüzü | Yok         | Daha iyi güç tasarrufu, gecikme ve iş hacmi          | Ortalamanın üstünde bir gecikme süresi |
| TMAC [31]     | Uyarlamalı görev döngüsü, aşırı duyma                     | Var         | S-MAC'da kullanılan enerjinin yüzde 20'sini kullanır | Trafik olduğunda gecikme artar         |
| WISEMAC [32]  | Minimize giriş bölümü örnekleme                           | Hayır       | S-MAC'dan daha iyi                                   | Her hop gecikmeyi artırır              |

|               |  |     |   |                                       |
|---------------|--|-----|---|---------------------------------------|
| SMAC<br>[33]  | Sabit görev döngüsü, sanal küme, TDÇE            | Var | TDÇE/ZBÇE'ye göre güç tasarrufu             | Sabit görev döngüsünden dolayı artar  |
| CMAC<br>[34]  | Agresif ACK, yakınsak paket iletimi              | Yok | Mevcut çözümlerden daha az enerji tüketir   | Az gecikme yaşanır                    |
| LEACH<br>[35] | Kümeleme algoritması, kolay kurulum ve sağlamlık | Var | Minimum iletim ile enerji tasarrufu sağlar. | Gecikme fazladır                      |
| PMAC<br>[36]  | Çerçevevi yuvaları kullanan bir ZBÇE protokolü   | Var | Az yük altında daha fazla güç tasarrufu     | Çarpışmalar yüzünden gecikme fazladır |
| DMAC<br>[37]  | Veri toplama ağacı ve yakınsak iletimi           | Var | Yüksek enerji tasarrufu                     | Düşük bir gecikme yaşanır             |

KAA'lara OEK katmanında gerçekleştirilen protokollerin çoğunluğunun OEK olarak CSMA yöntemini benimsedikleri. Bazı protokoller ağda kendi planlarını veya elde ettikleri planlar ile senkronizasyonu sağlayarak enerji verimliliği sağlamışlardır. Karşılaştırmada protokollerin enerji verimliliği için kullandıkları planları ve bu planların değiş tokuş yapıp yapmadıklarını anlamak içinde bir parametre kullanılmış ve analiz yapılmıştır (Bkz. Tablo 5). Bu çalışmada protokoller iki kısma ayrılmıştır. Bunlar, enerji verimliliğini öntakı kullanarak sağlamaya çalışan protokoller ve kullanmadan sağlamaya çalışan protokoller olarak açıklanabilmektedir. Algılayıcı ağlar için önemli sayılan bu konu ile ilgili bir karşılaştırma parametresi kullanılmıştır. Bu sayede OEK katmanında hangi protokolün nasıl bir yöntem izlediği anlaşılmaktadır. Aynı şekilde, telsiz optimizasyonu, pil tasarrufu için sinyal kalitesini kapatma ve veri azaltma yaklaşımları, toplanan bilgilerin doğruluğunu etkileyebilir. Mesela, enerji verimliliği sağlamada düğüm hatası durumunda farklı çözümler sunan alternatif protokoller kullanılabilir.

## 9. SONUÇ

KAA'ların yaygınlaşmasıyla beraber AD'lerin enerjisi verimli kullanmaları çok önemli bir hal almıştır. AD'lerin enerjisi tasarruflu kullanmaları KAA'nın yaşam süresini doğrudan etkilemektedir. Literatürde yapılan çalışmaların çoğu enerji verimliliğini arttırmak üzerine odaklanmış durumdadır [27]. Bu çalışmada ise enerji duyarlı OEK protokolleri üzerine odaklanılmıştır. Amaç hangi protokol daha verimli enerji tasarrufu sağlayacaktır. Analiz edilen bütün OEK protokolleri tamamen çakışmayı önleme, gecikmeyi ortadan kaldırma ve var olan enerji duyarlı sorunlara çözümler bulma üzerinedir. Bunca gelişmeye rağmen KAA'lar için henüz bir standart OEK protokolleri mevcut olmamakla birlikte bu konu üzerine çokça çalışma yapılmaktadır. Öngörülen OEK protokollerinin asıl gayesi, KAA'nın yaşam süresini belirleyen enerji sorununa bir çare bulmaktır. Enerji israfını en aza indirmek için yeni yollar ve yöntemler arayışında olmaktadır. Bunun yanı sıra, gecikmelere karşı etkili olan uygulamalarda ortaya çıkan aktarım gecikmelerini azaltmak için de çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmada görüldüğü gibi KAA'larda önerilen OEK protokolleri çekişme tabanlı ve merkezi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Merkez tabanlı olarak ZBÇE kullanılırken, çekişme tabanlı olarak Dağıtık Koordinasyon İşlevi (DKİ, Distributed coordination function) TDÇEK/ÇT protokolleri kullanılmaktadır [28]. DKİ protokolünün gecikme duyarlı uygulamalarda, diğer mühendislik tabanlı protokolüne göre daha az gecikmeye neden olduğu saptanmıştır. Öte yandan enerji duyarlı uygulamalarda ise gecikmelerin daha fazla olmasının nedeni ise AD'lerin belirli aralıklarla uykuya dalmasından mütevellittir. WiseMAC gibi protokollerde de görüldüğü üzere AD'lerin belirli aralıklarla uyku moduna girerek RF'lerinin kapatılmalarından dolayı enerji duyarlı uygulamalar gecikme duyarlı uygulamalara göre [29] daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Aloha gibi protokollerde ise alıcı kanal meşgul ise haber verir.

Ayrıca enerji israfını önlemek ve tasarruf sağlamak için bazı düğümler uyku moduna alınarak radyo iletim fonksiyonları kapatılmaktadır. Bu özellik sayesinde tasarruf az da olsa sağlanmış olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Özdağ, R., Elektromagnetizma-benzer algoritması kullanılarak kablosuz algılayıcı ağlarının optimizasyonunun gerçekleştirilmesi. 2015.
- [2] Gao, R., H. Zhou, and G. Su. A wireless sensor network environment monitoring system based on TinyOS. 2011. IEEE.

- [3] ERDEM, O.A. and S. TOKLU, KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VERİMLİ MAC PROTOKOLLERİ. 2013.
- [4] Kalaycı, T.E., Kablosuz sensör ağlar ve uygulamaları. Akademik Bilişim Konferansı, Şanlıurfa, 2009.
- [5] Khan, A.A., M.H. Rehmani, and M. Reisslein, Cognitive radio for smart grids: Survey of architectures, spectrum sensing mechanisms, and networking protocols. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016. 18(1): p. 860-898.
- [6] YALMAN, Y. and İ. ERTÜRK, Sayısal ses içerisinde gizli veri transferinin kablosuz ortamda gerçekleştirilmesi. Politeknik Dergisi, 2008. 11(4).
- [7] KULLANILAN, K.A.A., TEKNOLOJİ VE PROTOKOLLER ÜZERİNE BİR İNCELEME.
- [8] Dargie, W. and C. Poellabauer, Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice. 2010: John Wiley & Sons.
- [9] Karl, H. and A. Willig, Protocols and architectures for wireless sensor networks. 2007: John Wiley & Sons.
- [10] Soylu, T., Kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları ve bir algılayıcı düğüm tasarımı. 2012.
- [11] Letsoalo, E. and S. Ojo. Survey of Media Access Control address spoofing attacks detection and prevention techniques in wireless networks. in IST-Africa Week Conference, 2016. 2016. IEEE.
- [12] Vuran, M.C. and I.F. Akyildiz, XLP: A cross-layer protocol for efficient communication in wireless sensor networks. IEEE transactions on mobile computing, 2010. 9(11): p. 1578-1591.
- [13] Goyal, D. and M.R. Tripathy. Routing protocols in wireless sensor networks: A survey. in Advanced Computing & Communication Technologies (ACCT), 2012 Second International Conference on. 2012. IEEE.
- [14] Goyal, R., S. Gupta, and P. Khatri. Energy aware routing protocol over leach on wireless sensor network. in Computing, Communication and Automation (ICCCA), 2016 International Conference on. 2016. IEEE.
- [15] Razaque, A. and K.M. Elleithy, Energy-efficient boarder node medium access control protocol for wireless sensor networks. Sensors, 2014. 14(3): p. 5074-5117.
- [16] Doudou, M., et al., Synchronous contention-based MAC protocols for delay-sensitive wireless sensor networks: A review and taxonomy. Journal of Network and Computer Applications, 2014. 38: p. 172-184.
- [17] Huang, P., et al., The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey. IEEE communications surveys & tutorials, 2013. 15(1): p. 101-120.
- [18] Zhang, X. and H. Su, CREAM-MAC: Cognitive radio-enabled multi-channel MAC protocol over dynamic spectrum access networks. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2011. 5(1): p. 110-123.
- [19] Tunca, C., et al. Ring routing: An energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks with a mobile sink. in Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2012 20th. 2012. IEEE.
- [20] Shiakallis, O., et al., A Scheduling Scheme for Throughput Optimization in Mobile Peer-to-Peer Networks, in Emerging Innovations in Wireless Networks and Broadband Technologies. 2016, IGI Global. p. 169-198.
- [21] Kumar, P., Medium access control protocols for energy and delay efficient applications of wireless sensor networks. 2012, Freie Universität Berlin.

- [22] Bouallegue, M., et al. Impact of variable transmission power on routing protocols in wireless sensor networks. 2014. IET.
- [23] Ilyas, M. and I. Mahgoub, Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems. 2004: CRC press.
- [24] Köybaşı, Z. and İ. Kaya. Security and power consumption comparisons of wireless sensor networks. in Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2013 21st. 2013. IEEE.
- [25] Bachir, A., et al., MAC essentials for wireless sensor networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2010. 12(2): p. 222-248 %@ 1553-877X.
- [26] Rezaei, Z. and S. Mobininejad, Energy saving in wireless sensor networks. International Journal of Computer Science and Engineering Survey, 2012. 3(1): p. 23 %@ 0976-3252.
- [27] Kim, Y., H. Shin, and H. Cha. Y-mac: An energy-efficient multi-channel mac protocol for dense wireless sensor networks. 2008. IEEE Computer Society.
- [28] Hafeez, K.A., et al., Distributed multichannel and mobility-aware cluster-based MAC protocol for vehicular Ad Hoc networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013. 62(8): p. 3886-3902 %@ 0018-9545.
- [29] Solak, S., Kablosuz Algılayıcı Ağlarda kullanılan MAC Protokollerinin Karşılaştırmalı Başarım Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, 2008.
- [30] AlSkaif, T., Bellalta, B., Zapata, M. G., & Ordinas, J. M. B. (2017). Energy efficiency of MAC protocols in low data rate wireless multimedia sensor networks: A comparative study. Ad Hoc Networks, 56, 141-157.
- [31] Mammu, A. S. K., Hernandez-Jayo, U., Sainz, N., & de la Iglesia, I. (2015). Cross-layer cluster-based energy-efficient protocol for wireless sensor networks. Sensors, 15(4), 8314-8336.
- [32] Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. Sensors, 16(9), 1466.
- [33] Bhandari, S., & Moh, S. (2016). A priority-based adaptive MAC protocol for wireless body area networks. Sensors, 16(3), 401.
- [34] Al-Jemeli, M., & Hussin, F. A. (2015). An energy efficient cross-layer network operation model for IEEE 802.15. 4-based mobile wireless sensor networks. IEEE sensors journal, 15(2), 684-692.
- [35] Grichi, H., Mosbahi, O., Khalgui, M., & Li, Z. (2018). New power-oriented methodology for dynamic resizing and mobility of reconfigurable wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(7), 1120-1130.
- [36] Dnyaneshwar, M. (2016). *Energy Efficient Bandwidth Management in Wireless Sensor Network* (Doctoral dissertation, Aalborg Universitetsforlag).
- [37] Erd, M., Schaeffer, F., Kostic, M., & Reindl, L. M. (2016). Event monitoring in emergency scenarios using energy efficient wireless sensor nodes for the disaster information management. *International journal of disaster risk reduction*, 16, 33-42.