

## Kablosuz Mesh Ağlar

Songül Tozan<sup>1</sup>, Şafak Durukan Odabaşı<sup>2</sup>, Muhammed Ali Aydın<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kara Harp Okulu, Ankara

<sup>2,3</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

stozan@kko.edu.tr, sdurukan@istanbul.edu.tr, aydinali@istanbul.edu.tr

**Özet:** Kablosuz Mesh Ağlar, dinamik olarak kendi kendine organize olabilen, kendini iyileştirebilen böylelikle esnek entegrasyon sağlayan, hızlı kurulum, kolay bakım, düşük maliyet, yüksek ölçeklenebilirlik ve güvenli servis özelliklerine sahip yeni bir teknolojidir.

Kablosuz mesh ağlar, mesh yönlendiriciler ve mesh istemciler içermektedir. Ağ geçidi ve mesh yönlendiricilerdeki köprüleme fonksiyonları aracılığıyla internet, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, sensör ağlar gibi ağlarla entegrasyon sağlarlar. Kablosuz mesh ağlar; kişisel, yerel, kampüs ve metropolitan alan uygulamaları için kablosuz servis hizmetleri sunmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Kablosuz Mesh Ağlar, Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi, Kablosuz Mesh Ağ Uygulamaları, Yönlendirme Protokolleri

### Wireless Mesh Networks

**Abstract:** Wireless Mesh Networks are new technology that is dynamically self-organized, self-heal thus allowing flexible integration, quick installation, easy care, low cost, high scalability and has reliable service features.

Wireless Mesh Networks (WMNs) consist of mesh routers and mesh clients. The integration of WMNs with other networks such as the internet, cellular, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, sensor networks, etc. can be accomplished through the gateway and bridging functions in the mesh routers. WMNs serve wireless service facilities for , wireless personal area networks (WPANs), wireless local area networks (WLANs), , and wireless metropolitan area networks (WMANs).

**Keywords:** Wireless mesh networks, wireless mesh network architecture, wireless mesh network applications, routing metrics, routing protocols.

### 1. Giriş

Kablosuz Mesh Ağlar, gelecek nesil kablosuz ağ iletişimine daha iyi servis sağlamak amacıyla ortaya çıkan teknolojidir [1]. Kablosuz mesh ağlar, mobil ad hoc ağların bir çeşididir. WMN'ler sabit ve mobil cihazların çok sıçramalı bir ad hoc ağı oluşturmak amacıyla kablosuz linkler yani kanallar üzerinden birbirlerine bağlanmasıyla oluşan bir yapıdır. Kablosuz mesh ağların ana avantajı esneklik

ve bağlantı güvenilirliği açısından ağda tespit edilen bozuklukları giderebilmesi ve çok sıçramalı iletimler sayesinde düşük maliyetli, internet erişimini sağlayarak mevcut ad hoc ağlar, kablosuz yerel alan ağları (WLANs) ve kablosuz kişisel alan ağlarının (WPANs) bu yöndeki eksikliklerini kapatmasıdır [2].

Bu çalışmanın ikinci bölümde kablosuz mesh ağlar, üçüncü bölümde kablosuz mesh ağların mimari özellikleri incelenerek karakteristik

özellikleri belirtilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde kablosuz mesh ağ uygulamaları, beşinci bölümünde tek ve çok kanallı kablosuz mesh ağ yapısı ve altıncı bölümde yönlendirme protokolleri yer almaktadır.

## 2. Kablosuz Mesh Ağlar

Kablosuz Mesh Ağlar, performans, güvenilirlik ve veri güvenliğinden ödün vermeden, birbirinden bağımsız birçok ağ yapısının şehir ölçeğinde birlikte çalışmasını sağlamakta ve böylece yazılım ve yönetim açısından ekonomik çözümler sunabilmektedir. Mesh işletim sistemi ile binlerce uç, binlerce kilometrekare şehir alanı kaplanabilmektedir, özellikle maliyet açısından kablo ve mevcut IEEE 802.11 WLAN yönlendiricileri ile kurulmaya çalışacak bu kapsamda bir ağın maliyetine göre daha düşük olacaktır. Kullanıcı ile sunucu arasındaki veri akışını maksimize eden akıllı ağ seçici algoritması ile kablosuz ağlar arasında taktır. Kullandığı Temel Servis Kümesi (BSS) ve Genişletilmiş Servis Kümesi (ESS) ile IEEE 802.11 ağlarının altyapısıyla fonksiyonellik açısından benzeşmektedir. WMN'ler; ek yönlendirme fonksiyonları içeren mesh yönlendiriciler ve gerektiğinde yönlendirme işlemi de gerçekleştiren mesh istemcilerden oluşmaktadır [1]. Mesh yönlendiriciler statiktirler, kablosuz bir altyapıdan oluşur ve mesh istemcilere çoklu sızmalı bir internet bağlantılılığı sağlamak için diğer kablolu ağlarla beraber çalışırlar. Mesh yönlendiriciler multi-hop iletişim yoluyla daha düşük iletim gücü ile daha iyi kapsama alanı sağlar. Mesh istemciler ise ağa mesh yönlendiriciler üzerinden bağlanabilirken birbirleri üzerinden de bağlantı sağlayabilirler. Mesh istemciler bir laptop, masaüstü bilgisayar, pocket PC, PDA, IP telefon, RFID okuyucu olabilir.

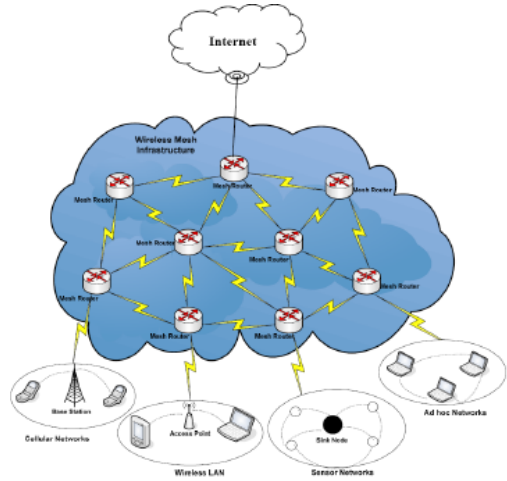
## 3. Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi

WMN yönlendiricileri, diğer ağlardaki gibi normal yönlendirme işlemini gerçekleştirmekte buna ek olarak mesh yönlendirme işlemlerini de desteklemektedir.

Kablosuz mesh ağ mimarisi düğümlerin fonksiyonlarına göre 3 gruba ayrılır [3]:

### 3.1. Altyapı / Omurga Mesh Ağı

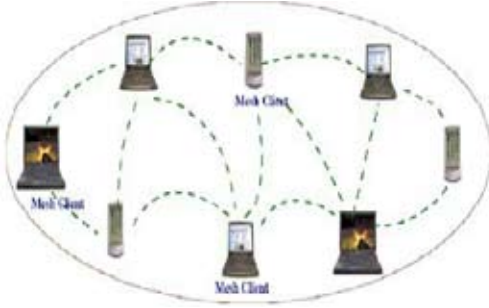
Kablosuz mesh ağ omurgası farklı ağ teknolojilerinin ve mesh istemcilerin Şekil 1'deki gibi birbirleri ile iletişime geçebilmesi için alt yapı sunar. Ağ içerisinde sadece mesh yönlendiriciler bulunmaktadır ve bu yönlendiriciler çeşitli kablosuz teknolojiler arasında ağırlıklı olarak IEEE 802.11 teknolojisini kullanır.



Şekil 1: Altyapı / Omurga Mesh Ağı [4]

### 3.2. İstemci Mesh Ağı

İstemciler, Şekil 2'deki gibi kendiaralarında noktadan noktaya bağlantı kurdukları için arada bir yönlendirici olmasına gerek yoktur. Bu şekilde kurulan ağlarda en fazla veri iletişimi gerçekleşmektedir. Genelde tek bir radyo ve tek bir anten ile donatılmıştır. Bu türdeki kablosuz iletişim araçlarının performansı önemlidir; çünkü yönlendiriciler olmadığından hem istemci hem de yönlendirici görevi görürler. Yani öz organizeli ağ gibi işlev görür ve ağ mimarisi olarak benzerdir.



Şekil 2: İstemci Mesh Ağı [5]

### 3.3. Hibrit Mesh Ağı

Omurga mesh ağı ile istemci mesh ağının birleştirilmesi ile oluşturulan ağ yapısıdır. (Şekil 3) Altyapı kısmı mesh ağlarla internetin, WiFi ve WiMAX ağlarının iletişimini sağlarken istemciler de yönlendirme işlemlerini düzenlerler.



Şekil 3: Hibrit Mesh Ağı [3]

Kablosuz mesh ağların mimarisinden kaynaklanan karakteristik özellikleri [4]:

- Kablosuz mesh ağlar P2P network özelliği taşımanın yanında farklı ağ ortamları ve teknolojilerine kolaylıkla erişim sağlayabilir.
- Dinamik bir yapıya sahiptir. Düğümler sistemden çıkabilir, kullandığı ağları değiştirebilir ve hücreler arasında gezinebilir. Düğümler hareketlerinde özgürdürler.
- Çok sıçramalı kablosuz ağ teknolojisi sunmaktadır. Merkezi kablosuz ağlardaki

görüş hattı (LoS – Line of Sight) problemini sonucu yaşanan paket kayıplarını, paketleri birden fazla düğüm üzerinden göndererek en aza indirebilir. Kablosuz mesh ağlar mevcut kanallar kullanılmadan o anki kablosuz ağın kapsama alanı daha az maliyet ile genişletilebilir.

- Çok sayıda yedek bağlantı imkânı sunduğu için güvenilirlik seviyesi oldukça yüksektir. Fonksiyonellik mesh ile sağlanabilir.
- Mevcut olan kablosuz ağ teknolojileriyle uyumludur. IEEE 802.11 teknolojisini kullandığından iletişim kurulacak diğer ağlar da bu standardı baz alabilir.

### 4. Kablosuz Mesh Ağ Uygulamaları

Çok yönlülüğünden dolayı birden çok uygulamanın ihtiyaçlarını karşılayabilir [7,8]. Bu uygulamaları şu şekilde sıralayabiliriz.

#### 4.1. Geniş Band Kablosuz Erişim [7,8]

Geniş band erişim, bilgi ekonomisinde önemli bir rolü vardır. Telekomünikasyon, online oyun, görüntülü görüşme vb. gerçek zamanlı uygulamalara servis sağlamaktadır. Kablosuz mesh ağlar, düşük ödeme masrafı, geniş müşteri kapsamı, hızlı kurulum ve dayanıklılık gibi avantajlarla kullanıcılarına geniş band kablosuz erişim sağlamaktadır.

#### 4.2. İç WLAN Kapsamı [7]

WLAN'larla uyumlu IEEE 802.11'in popülerliği teknolojinin en istenmeyen taraflarını ortaya çıkarmıştır: en küçük binalarda bile kapsamı sağlamak için çoklu erişim noktalarına (Access Point -AP) ihtiyaç duyulur. Tüm bu AP'ler bir dağıtım sistemine (kablolu bir ağa) bağlı olmak zorundadır. Kablosuz mesh ağlar çoklu sıçrama kapasiteleriyle kablolarla olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

#### 4.3. Mobil Kullanıcı Erişimi [7]

4G tarafında sağlanan tüm özellikler kablosuz mesh ağlar tarafından daha az masraflı bir şekilde ve pahalı spektrum lisansına ihtiyaç duymadan sağlanabilir.

#### **4.4. Ulaşım Sistemleri [8]**

İnternet erişimi istasyonlarda sınırlandırılmakta ve IEEE 802.11 ve 802.16 kullanımı durmaktadır. Kablosuz mesh ağ teknolojisi, otobüslerde, uçaklarda, feribotlarda ve trenlerde internet erişimini genişletmeye yardımcı olmaktadır. Böylece kullanıcılar hareket halindeyken erişimleri kesilmemektedir.

#### **4.5. Sağlık [8]**

Hastanelerde veya sağlık merkezlerinde, hastaları gözlemlmek ve bilgilerini takip etmek ve bunları odadan odaya göndermek için internet erişimlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Kablosuz mesh ağlar, bütün sağlık cihazlarına sınırsız internet erişimi sağlayabilmektedir. Bunu yaparken sabit Ethernet bağlantılarını kullanmasına gerek yoktur; böylece ölü noktaları ortadan kaldırır ve geleneksel kablo teknolojisine göre daha düşük sistem maliyeti sağlar.

#### **4.6. Konaklama [8]**

Otellerin veya dinlenme yerlerinin ücretsiz olarak sunduğu servislerden bir tanesi de yüksek hızlı internet erişimidir. Kablosuz sensör ağlar, kolay kurulumu, düşük masrafı ve alt yapıda herhangi bir değişiklik yapmadan hem içeride hem de dışarıda hızlı internet erişimi sağlamaktadır.

### **5. Tek ve Çok Kanallı Kablosuz Mesh Ağlar**

Yeni nesil kablosuz mobil iletişim farklı teknoloji ve servisleri bir araya getiren birleşmiş ağlar mantığı ile hareket eder. Kablosuz mesh ağlar, geniş coğrafik alanlarda yüksek band genişliği sağlayarak geleceğin bütünleşik ağlarında ana bileşenlerden biri olması amacıyla tasarlanmıştır. Tek kanalda çalışan tek radyolu mesh düğümleri kapasite kısıtlamalarından etkilenirken, çoklu üst üste binmeyen kanalları kullanan çoklu radyolarla donatılmış mesh yönlendiriciler kapasite problemini azaltarak ağın toplam band genişliğinde artışa neden olabilirler.

#### **5.1. Tek Kanallı Kablosuz Mesh Ağlar**

Mevcut 802.11 tabanlı ağ kartlarını kullanan mesh ağlar genellikle tek bir radyoyu kulla-

nan tek bir kanal üzerinde çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Bu yapılandırma ağdaki komşu düğümlerin neden olduğu parazit nedeniyle ağ performansını olumsuz yönde etkiler. Bu problemi çözmek amacıyla MAC protokollerinin WMN'lere uyarlanması, tek bir radyoda kanal değiştirme yapılması ve yönlü antenlerin kullanılması gibi çözüm yolları ortaya atılmıştır [9]. Yönlü antenler ve uyarlanmış MAC protokollerinin kullanılması geniş bir alanda düşünüldüğünde bu tarzda çözümlerin pratik olarak uygulanmasını mümkün kılmazken, çoklu kanalların tek bir radyo ile kullanılmasındaki ana problem dinamik kanal değiştirmenin düğümler arasında sıkı bir zaman senkronizasyonuna ihtiyaç duymasıdır.

#### **5.2. Çok Kanallı Kablosuz Mesh Ağlar**

Düğümlerin çoklu radyolarla donatılması WMN'lerin kapasitesini arttıran bir yaklaşımdır. 802.11 a standardı 12, 802.11 b/g standardı ise 3 adet üst üste binmeyen yani bir komşulukta eş zamanlı kullanılabilen kanalı desteklemektedir. Böylelikle verimli bir spektrum dağılımı sağlanırken ağda kullanılabilen band genişliği miktarı da arttırılabilmektedir. Varolan donanımın rahatlıkla kullanılabilmesi çoklu radyo çözümlerini ekonomik açıdan çekici kılmaktadır. Farklı frekanslarda çalışan, farklı duyma-sezme mesafeleri, band genişliği ve sönme karakterlerine sahip radyoların zamansal ve uzamsal olarak ayrıştırılması ağ kapasitesinde artışa neden olabilir.[10]

### **6. Yönlendirme Protokolleri**

Yönlendirmede amaç paketleri kaynaktan hedefe iletebilmektir. Herhangi bir yönlendirme protokolünün genel yönlendirme gereksinimleri şunlardır: ölçeklenebilirlik (scalability), güvenilirlik (reliability), verimlilik (throughput), yük dengeleme (load balancing), tıkanıklık kontrolü (congestion kontrol). Geliştirilen yönlendirme protokollerinin ağ topolojisindeki ve servislerindeki değişiklikleri saptamak ve cevap vermek, bu bilgiyi yönlendirme çalışması için etrafa yaymak, mobilite yönetimini sağla-

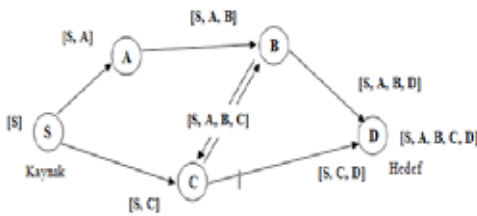
mak, yolların bakımı ve seçimi, seçilen yollara bağlı olarak trafiği iletmek gibi fonksiyonları sağlamaları gerekmektedir. Kablosuz mesh ağlarda yönlendirme protokolü üçe ayrılmaktadır.

### 6.1. Reaktif Yönlendirme Protokolleri

Reaktif yönlendirme protokollerinde yönlendirme yolları ne zaman ihtiyaç olursa o zaman bulunur. Bir yol bulma işlemi; keşif prosedürünü çağırır. Keşif prosedürü ya bir yol bulunduğunda ya da bütün olasılıklara rağmen bir yol bulunmadığında sonlanır.

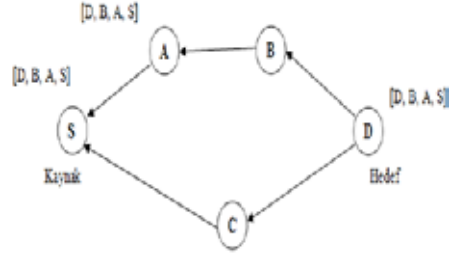
#### 1. Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü (Dynamic Source Routing - DSR)

Tek yöne yayın yapan reaktif bir yönlendirme protokolüdür. Her veri paketinin bütün yönlendirme bilgisini içerdiği kaynak yönlendirme uygulamaktadır. DSR protokolü yol bulma ve yol bakımı aşamalarını içermektedir. İlk aşama olan yol bulma kaynak düğümünden başlar. Kaynak düğüm başlıkla birlikte veri paketlerini yayımlar. Başlık kaynak adresini, hedef adresini ve benzersiz sıra numarası içerir. Bu paketler, Yönlendirme İsteği (Route Request - RREQ) olarak adlandırılır. RREQ paketleri Şekil 4'te gösterildiği gibi dağılmaktadır.



Şekil 4: Yön İstek Mesajı (RREQ) [11]

Bir düğüme, bir RREQ paketi ulaştığında ilk olarak route cache kontrol edilir. Düğüm, hedef düğüm olduğunu anlarsa Şekil 5'de gösterildiği gibi kaynak düğüme Yönlendirme Cevabı (Route Reply - RREP) paketi gönderir. Bu cevap paketindeki başlık yoldaki düğümlerin adreslerini içerir.

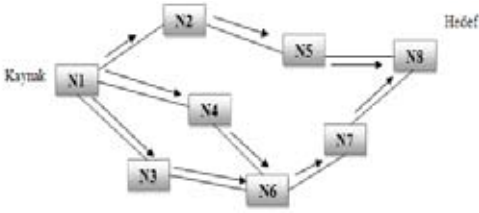


Şekil 5: Rota Cevabı [11]

Hedef düğüm değilse kendi adresini başlığa ekler ve komşularına RREQ paketi gönderir. İkinci aşama: kaynak düğüm veri göndermek istediğinde ilk olarak route cache'i kontrol eder. Eğer aradığı adres varsa başlığa cache'de bulunan yolu ekler ve tanımlı olan yol üzerinden paketi gönderir. DSR protokolünde iletim sırasında bağlantıların kopması durumunda bir Yönlendirme Hata Paketi (Route Error - RERR) yayınlanır ve kaynağa geri gönderilir. RERR paketi kaynağa eriştiğinde yol bulma işlemi tekrar çalıştırılır.

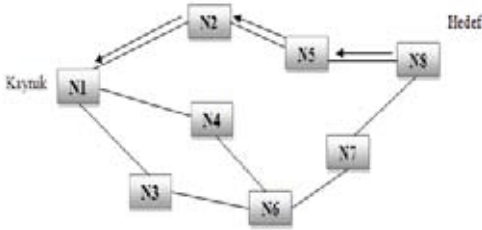
#### 2. Tasarsız Talep Esaslı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing - AODV)

Tek yönlü yayın yapan yönlendirme protokolüdür. AODV protokolünde, kaynak düğüm veri paketlerini hedef düğüme göndermek istediğinde; mevcut yol bilinmiyorsa, node discovery process'i başlatır. Node discovery process'de kaynak düğüm Şekil 6'da görüldüğü gibi RREQ paketlerini gönderir. RREQ paketleri kaynak düğümün adresini, hedef düğümün adresini ve tanımlayıcı olan broadcasting id'sini, hedef en son sıra numarasını ve kaynak düğüm sıra numarasını içerir. Sıra numarasının avantajı en güncel yönlendirme sağlama ve döngü oluşumunu engellemedir. Her RREQ küçük TTL değeri ile başlar. Eğer hedef bulunamazsa TTL değeri 1 arttırılır



Şekil 6: RREQ paketlerini yayma [12]

Yönlendirme tabloları, bilgileri belli bir süre tutar ve her düğüm kendi bilgilerini korur. Her düğümün belleği, ulaştığı RREQ'leri kaydeder. Sadece en yüksek sıra numarasına sahip olan RREQ kabul edilir, diğerleri atılır. Ayrıca bellek geri dönüşte kullanılacak düğümleri de kaydeder. Şekil 7'de görüldüğü gibi eğer kaynak sıra numarası başlıktaki sıra numarasına eşit veya büyükse bir RREP paketi oluşturulur ve kaynağa geri gönderilir. AODV sadece simetrik bağlantı kullanır ve RREP, RREQ'in ters yolunu izler.



Şekil 7: Bir RREP paketinin kaynağa gönderilmesi [12]

### 3. Link Kalitesi Kaynak Yönlendirme Protokolü (Link Quality Source Routing-LQSR)

Microsoft Araştırma Grubu tarafından önerilmiştir. DSR protokolüne dayanmaktadır. Bu yönlendirme protokolünde, bağlantı kalite metrikleri ve diğer ilgili metrikler iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu metrikler Gidiş-Dönüş Gecikmeleri (RTT), Paket Çifti Gecikmeleri ve Beklenen İletim Sayısı (ETX). LQSR protokolünde, bir düğüme bir RREQ paketi ulaştığı zaman bağlantı kalite metriğini ekler. Bir kaynak düğüme RREP paketi ulaştığında paket bağlantı kalite bilgisi ve düğüm bilgisi içerir.

Link durum bilgisi için LQSR'de düğümler komşularına Hello mesajları gönderirler. Bu mesajlar, mesajın ulaştığı bağlantılardaki her düğüm için bağlantı kalitesi bilgisinin güncel tutulmasını sağlar.

## 6.2. Proaktif Yönlendirme Protokolleri

Proaktif yönlendirme protokollerinde düğümler yönlendirme bilgilerini güncel tutabilmek için sürekli yol hesaplaması yaparlar. Bundan dolayı bir kaynak düğüm yönlendirme işleminde, yönlendirme yolunu hemen kurar. Bütün düğümlerin ağ topolojisinin tutarlı bir görünümünü korumaları gerekmektedir. Düğümler ağ topolojisinde bir değişiklik meydana geldiğinde kendini güncelleyebilmeli ve değişikliği bütün ağa yayması gerekir.

### 1. Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Destination Sequenced Distance Vector Routing - DSDV)

Geleneksel Bellman Ford algoritmasına dayanır. Her düğümün bir yönlendirme tablosu bulunmaktadır. Yönlendirme tablosundaki her bir giriş ağıdaki mümkün olan bütün hedefleri ve her hedefe olan sıçrama sayısını tutar. Döngüyü önlemek için sıra numarası kullanır. Her düğüm periyodik olarak yönlendirme tablosundaki güncellemeleri yayınlar. İki türlü güncelleme mümkündür. Birincisi Full Dump (Tam Döküm). Full Dump bütün olası yönlendirme bilgilerini tutar ve Network Protocol Data Unit (NPDU)'a gereksinimi yoktur. Diğer güncelleme ise Incremental Update (Artımlı Güncelleme). Bu yaklaşım son güncelleme ile değişen metrik bilgilerini içerir.

### 2. Optimize Edilmiş Link Durum Yönlendirme Protokolü (Optimized Link State Routing Protocol - OLSR)

Bu yönlendirme protokolünde her düğüm bağlantı durum bilgilerini ağdaki diğer düğümlere gönderir. Bundan dolayı düğümler 2-şıçramadaki komşu düğümlerini bilirler. Bağlantı durum bilgisi için Hello mesajları kullanılır. Multi Point Relays (MPR), OLSR protokolünün önemli yanıdır. Bir düğüm bir mesaj yaydığı anda

bütün komşuları alır. OLSR iki tür Control mesajı kullanır. Bunlar Hello ve Topoloji Kontrol (Topology Control - TC). Hello mesajları bağlantı durumu hakkında bilgi toplamak ve komşularına ev sahipliği yapmak için kullanılır. TC mesajları periyodik olarak yayınlanır ve sadece MPR hostu, TC mesajlarını iletebilir. Diğer proaktif protokoller üzerinde OLSR'nin en büyük avantajı yönlendirme tabloları yerine bağlantı durum bilgilerini yayınlardır.

### **3. Mesh Yönlendirme Protokolü (Mesh Networking Routing Protocol -MRP)**

Bu protokolde her sunucu, internete bağlanmak için bir ağ geçididir. Eğer bir ağ geçidi düşerse veya düğüm çıkarsa, düğüm başka bir ağ geçidi seçer. Tüm trafiğin internet ağ geçidi üzerinden aktığı varsayılır. Bu protokolün ağırlıklı olarak 3 versiyonu kullanılabilir. MRP on-demand bu versiyonlardan biridir. Bu protokol RDIS, RADV, RREG, RCHK ve RACK gibi mesajlar kullanmaktadır. Ağa katılmak isteyen düğüm ağ geçidine en yakın olan yolu bulmak için komşu düğümlerine Route Discovery Message (RDIS – Yol Keşif Mesajı) gönderir. Bu mesaj kaynağın bir-adım düğümleri tarafından alınır. RDIS mesajını alan bütün düğümler mevcut yolların ölçümlerini içeren bir Route Advertisement Packet (RADV – Yol Reklam Paketi) ile cevaplar. Tüm komşu düğümler çarpışmaları önlemek için rastgele gecikme ile RADV paketlerini gönderirler. Ağa katılan yeni bir düğüm bütün RADV paketlerini depolar ve bir seferde bütün RADV'leri alır, bir veya daha fazla yukarı rota yönlendirme yapmayı seçecektir. Düğüm hızlıca internete veri göndermeye başlar. Düğümün internete bir router sahip olması half-connected durumu olarak adlandırılır. Bir sonraki adım, katılan düğümleri ağ geçidi ile kaydetmektir.

### **4. Isı Kullanarak Ölçeklenebilir Yönlendirme Protokolü**

**(Scalable Routing using heat Protocol)**  
Temel olarak ölçeklenebilirlik ve sağlıklı sağlamaktadır. Ölçeklenebilirlik yerel mesajların alışverişi ile sağlanmakta; Sağlık ağıdaki yollara sıcaklık değeri atayarak sağlanmakta-

dır. Bu yönlendirme protokolünde köprüler, ağ içinde sıcaklık geliştiren ısı kaynakları olarak inşa edilmiştir. Sıcaklığı yüksek olan bir düğüm access point'e yakın demektir ve paketleri gönderme işlemini gerçekleştirir. Bütün düğümler kendi ve komşularının sıcaklığını ölçerler. Ağda herhangi bir değişiklik olduğunda sıcaklık tekrar hesaplanır.

### **6.3. Hibrit Yönlendirme Protokolü**

Hibrit yönlendirme protokolleri, proaktif ve reaktif her iki yönlendirme protokollerinin metriklerini birleştirmeyi ve onların eksikliklerini aşmayı önermektedir. Belirsiz Görülen Link Durum Yönlendirme Protokolü (Hazy-Sighted Link State Routing Algorithm -HSLs) hibrit yönlendirme protokolüdür. HSLs, 2 tane proaktif yönlendirme algoritması içermektedir. Bu algoritmalar Yakın Görülen Link Durum Yönlendirme (Near-Sighted Link-State Routing) ve Ayrık Link Durum Yönlendirme (Discretized Link-State Routing). İlk algoritma yönlendirme bilgisinin transfer edildiği düğüm sıçrayış sayısını bulur; diğer algoritma yönlendirme bilgisinin transfer edildiği zamanı bulur. Alternatif yolların bulunması için reaktif bir yönlendirmeye ihtiyaç vardır.

## **6. Sonuç**

Kablosuz Mesh Ağlar, alt yapısız olarak çalışabilen 4G teknolojisi içerisinde yer alacak yeni bir teknolojidir. Diğer teknolojilere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Günümüzde birçok internet geniş bant bağlantısı hem kablo hem de DSL üzerinden sağlanır. Maalesef, nüfusun büyük bir çoğunluğu internete bağlanmak için gerekli geniş bant altyapısına sahip değildir. İhtiyaç duyulan altyapıyı sağlamak pahalıdır, özellikle de internet servis sağlayıcıları için. Bu noktada kablosuz mesh ağlar devreye girmektedir; çünkü altyapıya bağlı olmadan çalışabilmektedirler. Ayrıca WMN'ler internet geniş bant erişim teknolojisi olarak dikkate değer başka avantajlara sahiptir. Bu avantajlar düşük ön ödeme masrafı, hızlı kurulum, dayanıklılık, müşteri kapsamıdır.

Çok sıçramalı yönlendirme yeteneğinden kaynaklı, tek bir baz istasyonuna ihtiyaç duyulmaz. Bir istemci diğerlerinden biriyle bağlantı sağlayabildiği sürece internet erişiminden yararlanır. Özellikle engellerin çok olduğu senaryolarda (yüksek binalar, ağaçlar vb.), bir P-MP (point-to-multipoint - 802.16) ile karşılaştırıldığında bir WMN'nin gözle görülür biçimde kapsamı arttırmıştır. WMN ile kurulan bir geniş bant ev ağında ise kapsamı arttırmak için fazladan fiziksel donanıma gerek kalmadan sadece mesh yönlendiricilerin yeri değiştirilerek veya sinyal gücü artırılarak kapsam genişletilebilir. Doğru konumlandırılmış ve doğru konfigüre edilmiş yönlendiriciler ile bir şehir tümüyle mesh ağ içine dahil edilebilir.

Kablosuz Mesh Ağlar, sahip olduğu özellikler ile günümüz problemlerine tek başına cevap verecek kapasitededir. Bir internet ağından beklenen hız, güvenlik ve her yerden ulaşılabilirlik gibi servislerin hepsini yerine getirebilen bu ağ teknolojisi, mevcut problemlerin çözülmesi ve gerekli çalışmaların yapılması sonucunda günümüz sorunlarının gelecekteki çözümü olarak belirtilebilir. Bu nedenden dolayı bu çalışmada Kablosuz Mesh Ağlar etraflıca incelenmiştir.

## 7. Kaynaklar

[1] Naima El Haouar and Abdelilah Maach, "Routing Metric for Wireless Mesh Networks", 978-1-4673-2679-7/12, 2012 IEEE.

[2] A. Alzubir, K. Abu, Adil Yousif, A. Abuobieda, "State of the Art, Channel Assignment Multi-Radio Multi-Channel in Wireless Mesh Network", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 37– No.4, January 2012

[3] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless Mesh Networks: a survey", I.F. Akyildiz et al. / Computer Networks 47 (2005) 445–487.

[4] H. Redwan and Ki-Hyung Kim, "Survey of Security Requirements, Attacks and Network Integration in Wireless Mesh Networks", Japan-China Joint Workshop on Frontier of Computer Science and Technology, 2008.

[5] H.A. Mogaibel and M. Othman, "Review of Routing Protocols and it's Metrics for Wireless Mesh Networks", International Association of Computer Science and Information Technology - Spring Conference, 2009.

[6] Şafak Durukan Odabaşı, A. Halim Zaim, "A Survey on Wireless Mesh Networks, Routing Metrics and Protocols", International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering Vol.2 Num.1 Pp.(92-104).

[7] Mihail L. Sichiitiu, "Wireless Mesh Networks: Opportunities And Challenges", Wireless World Congress, May 2005.

[8] A.Valarmozhi, M.Subala, V.Muthu, "Survey of Wireless Mesh Network", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 6, December 2012

[9] H. Skalli, S. Ghosh and S.K. Das, L. Lenzi, M.Conti, "Channel Assignment Strategies for Multiradio Wireless Mesh Networks: Issues and Solutions", IEEE Communications Magazine, November 2007

[10] S.Durukan Odabaşı, "Kablosuz Mesh Ağlar ve Mesh Ağ Uygulamaları", Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013

[11] S.Tozan, "Kablosuz Mesh Ağlarda Yönlendirme Algoritmalarının Performans Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012

[12] E.M. ROYER and C.K. TOH, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Ad Hoc Mobile Wireless Networks", 2011