



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KABLOSUZ MESH AĞLARDA YÖNLENDİRME  
ALGORİTMALARININ PERFORMANS ANALİZİ**

**Bil.Müh. Songül TOZAN  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Yrd.Doç.Dr. Muhammed Ali AYDIN**

**Kasım, 2012**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 26/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

  
Yrd.Doç.Dr. Muhammed Ali Aydın (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof.Dr. Ahmet SERTBAŞ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof.Dr. Alifan ZAIM  
İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Yrd.Doç.Dr. Oguzhan ÖZTAŞ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Yrd.Doç.Dr. Niyazi KILIÇ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan “Kablosuz Mesh Ağlarda Yönlendirme Algoritmalarının Performans Analizi” adlı yüksek lisans tez çalışmasını içermektedir.

Tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Muhammed Ali AYDIN ve Arş.Gör. Şafak DURUKAN ODABAŞI’na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

**Kasım, 2012**

**Songül TOZAN**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ŞEKİL LİSTESİ .....	V
TABLO LİSTESİ .....	VII
KISALTMA LİSTESİ .....	VIII
ÖZET .....	X
SUMMARY .....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	2
2.1. Kablosuz Mesh Ağlar.....	2
2.2. Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi.....	3
2.3. Kablosuz Mesh Ağların Karakteristik Özellikleri .....	4
2.4. Kablosuz Mesh Ağların Zayıf ve Güçlü Tarafları .....	5
2.5. Kablosuz Mesh Ağların Tasarımını Zorlaştıran Etkenler .....	6
2.5.1. Fiziksel Katman.....	6
2.5.2. Data Link Katmanı .....	8
2.5.3. Ağ Katmanı.....	9
2.5.4. Taşıma Katmanı.....	11
2.6. Kablosuz Mesh Ağ Uygulamaları .....	15
2.6.1. İç WLAN Kapsamı.....	15
2.6.2. Mobil Kullanıcı Erişimi .....	16
2.6.3. Bağlantı .....	16
2.6.4. Geniş Band İnternet Erişimi .....	17
2.7. Kablosuz Mesh Ağlarda Yönlendirme .....	18
2.8. Yönlendirme Metrikleri.....	22

2.8.1. Sıçrama Sayısı (Hop Count).....	23
2.8.2. Bloklama Metriği (Blocking Metric) .....	23
2.8.3. Beklenen İletim Sayısı (Expected Transmission Count - ETX).....	24
2.8.4. Beklenen İletim Zamanı (Expected Transmission Time - ETT).....	24
2.8.5. Modifiye Edilmiş Beklenen İletim Sayısı .....	25
2.8.6. Ağ Tahsis Vektör Sayısı (Network Allocation Vector Count - NAVC) 26	
2.8.7. Arayüz ve Kanal Anahtarlama Metriği (Metric Of Interface and Channel Switching - MIC) .....	26
2.9. Kablosuz Mesh Ağlarda Yol Seçimi .....	27
2.10. Kablosuz Mesh Ağlarda Kullanılan Yönlendirme Protokolleri .....	30
2.10.1. Reaktif Yönlendirme Protokolleri .....	30
2.10.1.1. <i>Link Kalitesi Kaynak Yönlendirme Protokolü (LQSR)</i> .....	30
2.10.1.2. <i>SrcRR Yönlendirme Protokolü</i> .....	30
2.10.2. Proaktif Yönlendirme Protokolleri .....	31
2.10.2.1. <i>Mesh Yönlendirme Protokolü (MPR)</i> .....	31
2.10.2.2. <i>Isı Kullanarak Ölçeklenebilir Yönlendirme Protokolü</i> .....	32
2.10.2.3. <i>Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (DSDV)</i> .....	32
2.10.2.4. <i>Optimize Edilmiş Link Durum Yönlendirme Protokolü (OLSR)</i> .....	34
2.10.3. Hibrit Yönlendirme Protokolleri .....	35
2.10.3.1. <i>Belirsiz Görülen Link Durum Yönlendirme Protokolü (HSL)</i> .....	35
2.10.4. Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması .....	35
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>36</b>
3.1. Dinamik Kaynak Yönlendirme Algoritması (DSR) .....	36
3.2. Tasarsız Talep Esaslı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Algoritması (AODV) 39	
3.2.1. Yolun Tutulması.....	42
3.2.2. Yerel Bağlantısallık Yönetimi .....	43
3.2.3. Paket Yayımı .....	44
3.2.4. Güvenlik .....	44
3.2.5. Kuvvetli ve Zayıf Yönler .....	44
3.3. Performans Kıyaslamasında Kullanılan Simulasyon Ortamı ve Parametreler .....	45
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>49</b>

4.1. Değişen Paket Sayısına Göre Performans Karşılaştırması .....	49
4.2. Değişen Düğüm Sayısına Göre Performans Karşılaştırması .....	60
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>73</b>
Ek 1: MATLAB Simülasyon Kodları.....	73
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>82</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi .....	4
Şekil 2.2: Üç Kanallı, Üç Kapılı ve 29 WMN Yönlendirmeli Bir Ağ İçin 2 Farklı Kanal Tahsisi .....	8
Şekil 2.3: Özel Olarak Tasarlanmış Bir MAC Protokolü İle Kanal Tahsisi.....	9
Şekil 2.4: Kablosuz Mesh Ağlarda Tarafsızlık Çalışması .....	11
Şekil 2.5: MPR Protokolündeki Mesajlar Dizisi .....	32
Şekil 2.6: Bellman – Ford Algoritması Örneği.....	33
Şekil 3.1: Yön İstek Mesajı (RREQ) .....	37
Şekil 3.2: Yön Cevap Mesajı (RREP) .....	37
Şekil 3.3: Yön Hata Mesajı (RERR) .....	38
Şekil 3.4: RREQ Paketlerini Yayma .....	41
Şekil 3.5: Bir RREP Paketinin Kaynağa Gönderilmesi.....	42
Şekil 3.6: Rotanın Tutulması .....	43
Şekil 3.7: MATLAB’de Oluşturulan Arayüz .....	47
Şekil 4.1: 60 Düğüm, 10 Kapsama Alanı İle Oluşturulan Mesh Ağ .....	49
Şekil 4.2: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 2 .....	49
Şekil 4.3: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	50
Şekil 4.4: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	51
Şekil 4.5: 60 Düğüm, 15 Kapsama Alanı İle Oluşturulan Mesh Ağ .....	52
Şekil 4.6: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 2 .....	53
Şekil 4.7: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	54
Şekil 4.8: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	55
Şekil 4.9: 60 Düğüm, 25 Kapsama Alanı İle Oluşturulan Mesh Ağ .....	56
Şekil 4.10: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 2 .....	57
Şekil 4.11: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	58
Şekil 4.12: Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	59
Şekil 4.13: Kapsama Alanı:5 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	61
Şekil 4.14: Kapsama Alanı:5 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	62

<b>Şekil 4.15:</b> Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	63
<b>Şekil 4.16:</b> Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	64



## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1:</b> Ana Yönlendirme Ölçütlerinin Karakteristik Özellikleri .....	27
<b>Tablo 2.2:</b> Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması.....	35
<b>Tablo 3.1:</b> DSR ile AODV Protokolleri Arasında Karmaşıklık Kıyaslaması .....	45
<b>Tablo 3.2:</b> Simülasyon Parametreleri - 1 .....	46
<b>Tablo 3.3:</b> Simülasyon Parametreleri - 2.....	46
<b>Tablo 4.1:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 2.....	50
<b>Tablo 4.2:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 4.....	51
<b>Tablo 4.3:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:10 ve Kuyruk Boyutu: 6.....	52
<b>Tablo 4.4:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 2.....	53
<b>Tablo 4.5:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 4.....	54
<b>Tablo 4.6:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 6.....	55
<b>Tablo 4.7:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 2.....	57
<b>Tablo 4.8:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 4.....	58
<b>Tablo 4.9:</b> Düğüm Sayısı:60, Kapsama Alanı:25 ve Kuyruk Boyutu: 6.....	59
<b>Tablo 4.10:</b> Kapsama Alanı:5 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	61
<b>Tablo 4.11:</b> Kapsama Alanı:5 ve Kuyruk Boyutu: 6 .....	62
<b>Tablo 4.12:</b> Kapsama Alanı:15 ve Kuyruk Boyutu: 4 .....	63
<b>Tablo 4.13:</b> Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6.....	64
<b>Tablo 5.1:</b> 1. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler - 1 .....	68
<b>Tablo 5.2:</b> 1. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler - 2 .....	68
<b>Tablo 5.3:</b> 2. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler - 1 .....	69
<b>Tablo 5.4:</b> 2. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler - 2 .....	69

## KISALTMA LİSTESİ

<b>AODV</b>	: Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing (Tasarsız Talep Esaslı Uzaklık Vektörü)
<b>AP</b>	: Access Point (Erişim Noktası)
<b>BSS</b>	: Basic Service Set (Temel Servis Kümesi)
<b>CBRP</b>	: Cluster Based Routing Protocol(Küme Tabanlı Yönlendirme Protokolü)
<b>CDMA</b>	: Code Division Multiple Access (Kod Bölünmeli Çoklu Erişim)
<b>CSC</b>	: Channel Switching Cost (Kanal Değişirme Maliyeti)
<b>CPU</b>	: Central Processing Unit (Merkezi İşletim Sistemi)
<b>DoS</b>	: Denial-Of-Service Attack (Red Servis Atakları)
<b>DSDV</b>	: Destination Sequenced Distance Vector (Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü)
<b>DSL</b>	: Digital Subscriber Line (Dijital Abone Hattı)
<b>DSR</b>	: Dynamic Source Routing (Dinamik Kaynak Yönlendirme)
<b>ESS</b>	: Extended Service Set (Genişletilmiş Servis Kümesi)
<b>ETX</b>	: Expected Transmission Count (Beklenen İletim Sayısı)
<b>ETT</b>	: Expected Transmission Time (Beklenen İletim Zamanı)
<b>HSLs</b>	: Hazy-Sighted Link State (Optimize Edilmiş Link Durum)
<b>IEEE</b>	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>IP</b>	: Internet Protocol (İnternet Protokolü)
<b>LAN</b>	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
<b>LoS</b>	: Line of Sight (Görüş Mesafesi)
<b>LQSR</b>	: Link Quality Source Routing (Link Kalitesi Kaynak Yönlendirme)
<b>MAC</b>	: Medium Access Control (Ortam Erişim Kontrol)
<b>MANET</b>	: Mobile Ad-Hoc Network (Mobil Tasarsız Ağ)
<b>mETX</b>	: Modified Expected Transmission Count (Modifiye Edilmiş Beklenen İletim Sayısı)
<b>MIC</b>	:Metric of Interface and Channel Switching (Arayüz ve Kanal Anahtarlama Metriği)
<b>NAVC</b>	: Network Allocation Vector Count (Ağ Tahsis Vektör Sayısı)
<b>NIC</b>	: Network Interface Card (İnternet Arayüz Kartı)
<b>P-MP</b>	: Point – Multi Point (Nokta – Çoklu Nokta)
<b>QoS</b>	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
<b>RADV</b>	: Route Advertisement Packet (Yol Reklam Paketi)
<b>RDIS</b>	: Route Discovery Message (Yol Keşif Mesajı)
<b>RREP</b>	: Route Reply (Yön Cevap)
<b>RREQ</b>	: Route Request (Yön İstek)
<b>RERR</b>	: Route Error (Yön Hata)
<b>TC</b>	: Topology Control (Topoloji Kontrol)
<b>TCP</b>	: Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
<b>UWB</b>	: Ultra Wide Band (Ultra Geniş Bant)

<b>WCETT</b>	:Weighted Cumulative Expected Transmission Time (Ağırlıklı Kümülatif Beklenen İletim Zamanı)
<b>WiFi</b>	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
<b>WiMAX</b>	: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik)
<b>WLAN</b>	: Wide Local Area Network (Geniş Yerel Alan Ağı)
<b>WMAN</b>	: Wireless Metropolitan Area Network(Kablosuz Metropolitan Alan Ağı)
<b>WMN</b>	: Wireless Mesh Network (Kablosuz Örgü Ağı)
<b>WRP</b>	: Wireless Routing Protocol (Kablosuz Yönlendirme Protokolü)
<b>WSN</b>	: Wireless Sensor Network (Kablosuz Sensör Ağı)

## ÖZET

### KABLOSUZ MESH AĞLARDA YÖNLENDİRME ALGORİTMALARININ PERFORMANS ANALİZİ

Düşük gecikme, yüksek seviyeli iletişim için artan taleplerin olması; kablolu sistemler, 3G hücreli sistemler ve WLAN'lar karşısında Kablosuz Mesh Ağlar'ın (WMNs) alternatif bir çözüm olarak çıkmasına neden olmuştur. 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 az hareketliliği olan ve kablosuz mesh ağların belkemiğini oluşturan mesh istemciler içermektedir. Ağ geçidi ve mesh yönlendiricilerdeki köprüleme fonksiyonları aracılığıyla internet, hücreli, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, sensör ağlar gibi ağlarla entegrasyon sağlar. Mesh istemciler sabit veya mobil olabilir, kendi aralarında ve mesh yönlendiricilerle mesh ağ oluşturabilirler.

Kablosuz mesh ağlar, tasarsız ağlardaki, kablosuz yerel alan, kişisel alan ve metropolitan alan ağlarındaki kısıtlamaları çözmesi ve önemli ölçüde performanslarını arttırması beklenmektedir.

Kablosuz mesh ağlar; kişisel, yerel, kampüs ve metropolitan alan uygulamaları için kablosuz servis hizmetleri sunmaktadır.

Bu çalışmada kablosuz mesh ağlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları incelenerek, AODV ve DSR yönlendirme algoritmalarının performans karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmayı iki bölüme ayırmak mümkündür. İlk bölümde kablosuz mesh ağlarla ilgili genel bilgiler verildikten sonra yönlendirme protokolleri ve metriklerinin anlatıldığı bölümler yer almaktadır.

Çalışmanın ilk bölümde kablosuz mesh ağların tanımı yapılarak karakteristik özellikleri, mimarisi, zayıf ve güçlü tarafları, tasarımını zorlaştıran etkenler ve ağ uygulamaları anlatılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümde kablosuz mesh ağların kullandığı yönlendirme protokolleri 3 ayrılmıştır. Bunlar proaktif, reaktif ve hibrit yönlendirme protokolleridir. Bu protokol çeşitlerindeki yönlendirme protokolleri incelenmiştir. Bu yönlendirme protokollerinin kullandığı metrikler detaylı olarak anlatılmıştır.

En son bölümde yapılan çalışma ile ilgili bir değerlendirme bulunmaktadır.

## **SUMMARY**

### **PERFORMANCE ANALYSIS OF ROUTING ALGORITHMS IN WIRELESS MESH NETWORKS**

Low-delay and presence of demand for high level communication have caused WMNs to be an alternative solution against to 3G cellular systems and WLANs. 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 where mesh routers have minimal mobility and form the backbone of WMNs. 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. Mesh clients can be either stationary or mobile; can form a client mesh network among themselves and with mesh routers.

WMNs are anticipated to resolve the limitations and significantly improve the performance of ad hoc networks, wireless local area networks (WLANs), wireless personal area networks (WPANs), and wireless metropolitan area networks (WMANs).

Wireless mesh networks will deliver wireless services for a large variety of applications in personal, local, campus and metropolitan areas.

In this research, the routing algorithms of AODV and DSR are compared through analyzing routing algorithms in wireless mesh network. It is possible to divide this research into two parts. In the first part, after general information about wireless mesh network is given, there are some parts of routing protocols and metrics are explained.

In the first part of this research, it is explained characteristic features, base architecture, weak and strong sides, factors making difficult the design and application of network through describing the wireless mesh networks.

In the second part, routing protocols used by wireless mesh network are divided into 3 parts. They are proactive, reactive and hybrid routing protocols. In this sort of protocols, routing protocols are analyzed. Metrics used in these routing protocols are explained in detail.

In the last part, there is a assessment about this research.

## 1. GİRİŞ

Bugünün ağ pazarı her yerden internete bağlanmayı sağlayan ve kullanım hızı şimdiki uygulamaların çok üzerinde olacak yeni uygulamaların olmasını, sosyal iletişim ortamını sağlayan ve birden çok kullanıcıya kesintisiz iletişim sağlayacak yeni kullanım araçlarının ortaya çıkmasını beklemektedir. Bu beklentinin gerçekleşmesi durumunda altyapının, geliştirilen uygulama sayısını ve kullanıcı sayısının artması sonucu internet ortamına gelecek yükü karşılaması gerekir. Bağlantının sürekliliğinin sağlanması, hızlı ve kolay bağlantı kurulabilmesi, erişim için gereken fiziksel katmanların maliyetli oluşu gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların giderilebilmesi için yeni bir ağ dizayn edilmesi ya da mevcut bir ağın geliştirilmesi aynı zamanda altyapıda birçok değişikliğin yapılması gerekmektedir. Mesh ağ yapısı bu noktada devreye girmektedir. Mesh ağlar altyapısız olarak çalışabilmektedir. Ayrıca düşük maliyet, kolay ağ bakımı, sağlamlık, güvenilir servis alanı gibi avantajlara da sahiptir. Kablolu ağların kullanılmadığı arazilerde kullanılabilir. Kablosuz mesh ağlar 4. jenerasyon ağlar içerisinde bu özellikleriyle yenilenmiş teknolojidir. IEEE 802.11, 802.15 ve 802.16 gibi standartların geliştirilmesi, kablosuz arayüz kartlarının azalan maliyeti kablosuz mesh ağların güçlü bir şekilde gelişmesini ve yayılmasını sağlamıştır.

Bu tez kapsamında Kablosuz Mesh Ağlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları incelenmiş ve bu algoritmaların performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu karşılaştırma teorik olarak ve simülasyon aracılığıyla yapılmıştır. Anlatıma kablosuz mesh ağların genel tanımıyla başlanmıştır. Sonrasında mimarisinden, karakteristik özelliklerinden, zayıf ve güçlü taraflarından, tasarımını zorlaştıran etmenler ve uygulamaları anlatılmıştır. Devamında kablosuz mesh ağlarda kullanılan yönlendirme protokolleri ve yönlendirme metrikleri anlatılmıştır. Tezin tartışma ve sonuç bölümünde elde edilen bulgular yorumlanarak gelecek çalışmalar için fikirler sunulmuştur.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1 KABLOSUZ MESH AĞLAR

Kablosuz Mesh Ağlar, performans, güvenilirlik ve veri güvenliğinden ödün vermeden, birçok birbirinden bağımsız ağ yapılarını şehir ölçeğinde birlikte çalışmasını sağlamakta ve böylece yazılım ve yönetim açısından birçok ekonomik çözüm sunabilmektedir. Birbirinden bağımsız birçok farklı uygulama mesh mimarisi ile kurulmuş aynı alt yapıyı hiçbir veri alışverişi olmaksızın paylaşabilir. Mesh işletim sistemi ile binlerce uç ile binlerce kilometrekare şehir alanları kaplanabilmektedir, özellikle maliyet açısından kablo ve mevcut IEEE 802.11 WLAN yönlendiricileri ile kurulmaya çalışacak bu kapsamda bir ağın maliyeti, WMN" lere göre çok daha yüksek ve verimsiz olacaktır.

Kullanıcı ile sunucu arasındaki veri akışını maksimize eden akıllı ağ seçici algoritması ile kablosuz ağlar arasında tektir. Kullandığı Temel Servis Kümesi (BSS) ve Genişletilmiş Servis Kümesi (ESS) ile IEEE 802.11 ağlarının altyapısıyla fonksiyonellik açısından benzeşmektedir. Mesh ağlar dinamik olarak kendini organize edebilen, yapılandırmasını kendiliğinden gerçekleştiren, anlık "ad-hoc" bağlantılar oluşturan ve bağlantının devamını sağlayan bir yapıya sahiptir. WMN'ler; ek yönlendirme fonksiyonları içeren mesh yönlendiriciler ve gerektiğinde yönlendirme işlemi de gerçekleştiren mesh istemcilerden oluşmaktadır (Methley, 2009). Mesh yönlendiriciler statiktirler. Kablosuz bir altyapıdan oluşur ve mesh istemcilere çoklu sıçramalı bir internet bağlantırlılığı sağlamak için diğer kablolu ağlarla beraber çalışırlar. Mesh yönlendiriciler multi-hop iletişim yoluyla daha düşük iletim gücü ile daha iyi kapsama alanı elde edebiliriz. 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.

Mesh ağlarındaki kapsama özneliği pmp (point – multi point ) ve hücresele çözüm getiren sistemlerden biraz daha farklıdır. Mesh yapısında, düğümler arasındaki bağlantılar düşük bir güç harcayarak karşısına çıkan engellerin çevresinden dolanacak şekilde kurulur. Mesh ağları bu başarısını routerlardaki bir katmanda bulunan zekice tasarlanmış bir yönlendirme algoritmasına borçludur.

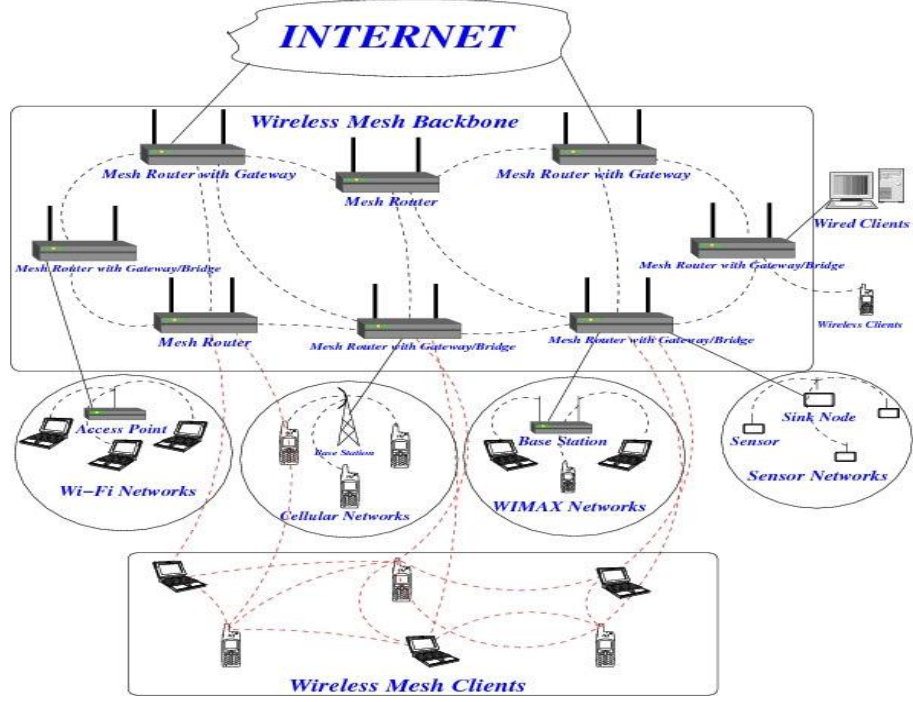
## 2.2. KABLOSUZ MESH AĞ MİMARİSİ

WMN yönlendiricileri normal yönlendirici görevlerinin yanında, mesh yönlendirme işlemlerini desteklemek için ekstra işlem kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Bunun için mesh yönlendiriciler birden fazla ağ arayüzüyle/kartıyla (Network Interface Card - NIC) donatılır. Mesh yönlendiriciler özel donanım dışında genel amaçlı kullanılan masaüstü bilgisayarlara ve laptoplara kurulabilir. Mesh istemciler, yönlendiriciler gibi geçit ve köprü özelliklerine sahip olması gerekmediğinden genelde tek bir kablosuz NIC'a sahiptir.

Kablosuz mesh ağ mimarisi içerisinde bulunan düğümlerin işlevselliğine göre 3 gruba ayrılır (Akyıldız ve Wang, 2009 ):

- **Altyapı/Omurga Mesh Ağı:** Kablosuz mesh ağ omurgası farklı ağ teknolojilerinin ve mesh istemcilerin birbirleri ile iletişime geçebilmesi için alt yapı sunar. Ağ içerisinde sadece mesh yönlendiricileri bulunmaktadır ve bu yönlendiriciler çeşitli kablosuz teknolojiler arasında ağırlıklı olarak IEEE 802.11 teknolojisini kullanır. Omurga mesh ağı içerisinde bulunan mesh yönlendiricilerin sahip olduğu anten, kablosuz ağ arayüz kartı gibi donanımsal parçaların miktarı mesh istemcilerde bulunanlardan fazladır.
- **İstemci Mesh Ağı:** İstemciler kendi aralarında 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.
- **Hibrit Mesh Ağı:** Omurga mesh ağı ile istemci mesh ağının birleştirilmesi ile oluşturulan ağ yapısıdır. Altyapı kısmı mesh ağlarla internetin, WiFi ve WiMAX ağlarının iletişimini sağlarken istemciler de yönlendirme işlemlerini düzenlerler.





Şekil 2.1: Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi

### 2.3. KABLOSUZ MESH AĞLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Kablosuz mesh ağların mimarisinden kaynaklanan karakteristik özellikleri (Methley, 2009), (Akyıldız ve Wang, 2009 ):

- 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) problemi 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 genişletebilir.
- Enerji tüketiminde, hâlihazırda geçerli olan protokoller gibi kısıtlamalara sahip değildir. Enerji harcaması yüksek olabilir. Enerji verimliliği, WMN’da WSN

(Wireless Sensor Network – Kablosuz Sensör Ağlar) ağlarda olduğu gibi ilk sırada gelmemektedir.

- Mevcut olan kablosuz ağ teknolojileriyle uyumludur. IEEE 802.11 teknolojisini kullandığından iletişim kurulacak diğer ağlar da bu standardı baz almalıdır.
- Ayrı olmayan altyapı (No separate infrastructure) konusunda, fonksiyonelliğin sağlanması ve taşınması mesh ile sağlanır. Bu yönlendirme güvenlik, yönetim ve güç denetimlerini de içerir. Hücresel ağ yapıları örnek olarak verilebilir.
- Hareketliliği desteklemek için kablosuz operasyon gereklidir, bunu sağlamak için sinyaller veya optik donanım kullanılabilir. Radyo kablo bağlantıları düşük kalitededir ve paket kaybı bir radyo frekansı üzerinde, normal kabul edilebilir. Ancak kablolu ağlar üzerinde paket kaybı, tıkanma (congestion) sorununu meydana getirir.
- Her düğümün diğer düğümlerin bilgisine sahip olması gerekebilir. Yani diğer düğümlerin yaptığı işlerden haberdar olmasını gerektiren durumlar meydana gelebilir. Bu her kullanıcının kullandığı geçerli düğümdeki bant genişliğini azaltır.
- Yönlendirme; tüm düğümlerin bir yönlendirme protokolüne katılması gerekir. Yönlendirme belirli bir protokole bağlı olarak paketlerin yönlendirilmesi işini yapar. Gelen paketlerin nereye iletileceğinin (hangi routerlardan geçip istenilen yere iletileceği) bilgisini sağlar.

#### **2.4. KABLOSUZ MESH AĞLARIN GÜÇLÜ VE ZAYIF TARAFLARI**

Kablosuz mesh ağların en büyük avantajı altyapıya bağlı olmadan çalışabilmesidir. Bunun yanında düşük maliyet, sağlamlık, güvenilir servis alanı, kolay ağ bakımı gibi avantajları da bulunmaktadır. Kablosuz mesh ağların avantajlarını kısaca özetlemek istersek (Whitehead, 2000) :

- Mükemmel kapasite
- Baz istasyonuna ihtiyaç duyulmaması ve bu nedenle düşük maliyet
- Düşük seviyedeki kullanıcı yoğunluğunda yüksek kapsama alanı
- Servis alımında esneklik
- Azaltılmış kurulum zamanı

- Anten noktasının otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi
- Düşük seviyede parazit ile sistem performansında görülen artış

Tüm bu özelliklerin birleşimi, mesh çözümlerini multimedya çözümleri, yerel ve iş alanları için kitle pazarına uygun hale getirmektedir. Mesh ağlarda çok sayıda düğümün bulunması bu ağlardaki kompleksiteyi arttırdığı gibi, bu sistemleri ölçeklenebilirlik, yönetilebilirlik ve güvenlik gibi konularda da tehditlerin hedefi haline getirmektedir. İhtiyaçlara cevap vermek geliştirilen her yeni uygulamayla beraber güvenlik ve bilginin korunumu da yeni probleme neden olmaktadır.

## **2.5. KABLOSUZ MESH AĞLARIN TASARIMINI ZORLAŞTIRAN ETKENLER**

### **2.5.1 Fiziksel Katman**

WMN teknolojisi teorik olarak fiziksel katmandan bağımsızlık ile ilgilidir; fakat tüm ağ teknolojilerinde olduğu gibi, fiziksel katmanın özellikleri WMN'ün performansını etkiler.

Fiziksel katmandaki zorluklar diğer kablosuz teknolojilerinden çok farklı değildir. WMN'ün fiziksel katmanının güvenilir olması lazımdır. Zayıflama ve parazitin istenmeyen etkileri iyi bir şekilde anlaşılır ve çeşitli çözümler radyo iletiminin güvenilirliğini sağlar. WMN'ün MAC protokolü rekabet bazlı olduğundan, parazite karşı gösterilen direnç hücresel sistemler ve 802.16'dan daha önemlidir.

Temel güvenilirlik ihtiyaçlarının ötesinde, WMN'lerin performansı açısından başka özellikler de önemli farklılıklar yaratabilir (Mihail, 2005):

#### **Mobilite:**

WMN'lerin kullanıcı mobilitesini destekleyebilmesi için, fiziksel katmanın frekans kaydırmayı desteklemesi ve mobil kullanıcılarla ilişkili zayıflama durumlarına hızlı adapte olması lazımdır.

#### Link Adaptasyonu:

İletim koşulları idealden daha az olduğunda, bir linkin güvenilirliğini tekrar sağlamak için daha sağlam modülasyon ya da hata düzeltme kodları görevlendirilmelidir. Birçok mevcut teknoloji böyle bir link adaptasyonu sağlar.

#### Değişken İletim Enerjisi:

Kablosuz vericinin enerjisinin değişebilir olması, link adaptasyon algoritması için artı bir özellik sayılabilir. Optimal iletim enerjisi sadece daha yüksek katmanlardan (paraziti minimize etmek, gecikmeyi minimize etmek, ağ kapasitesini maksimum yapmak gibi hedeflenen amaca bağlı olarak) alınan bilgiye dayanarak tanımlanabilir.

#### Çoklu Vericiler:

Eğer çoklu iletişim kanalları mevcutsa, iyi tasarlanmış bir MAC protokolünün eşzamanlı olarak farklı kanallarda alma ve/veya verme işini gerçekleştirmek için bu çoklu iletilere sahip olmanın avantajını kullanması olasıdır.

#### Yönlü Antenler:

Tek yönlü antenler ucuzdur ve kurulumu kolaydır, ancak çok yönlü antenler WMN'lerin eş zamanlı iletim sırasındaki paraziti azaltmasına izin verirler. Eş zamanlı iletim link masrafını ya da iletim enerjisini düşürmek için yapılır. Fakat yönlü anten kullanmak aynı zamanda yüksek katmanların tasarımını karmaşık bir hale getirebilir.

#### Link Kalitesi Geri Bildirimi:

Kablosuz ağlar için, link kalitesi bilgisi, daha yüksek katmanlarda handover yatkınlığını, yönlendirme kararını, kapasite optimizasyonunu tespit edebilmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bilginin uygunluğu, daha yüksek katmanların verimliliğini önemli ölçüde arttırabilir.

#### Verici Performansı:

Vericilerin uygun kanallar arasında, alıcı ve verici modu arasında hızlı bir şekilde geçiş yapabilmesi ve yine hızlı bir şekilde senkronizasyonu gerçekleştirmesi gerekmektedir.

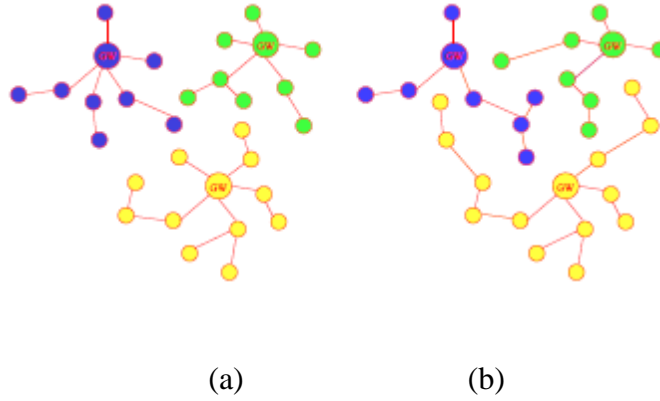
### 2.5.2. Data Link Katmanı

Data link katmanında, MAC protokolünün dizaynı WMN'ler için en zorlayıcı kısımdır. Merkezi bir girişin olmasına rağmen, geçitin birkaç sıçrama uzaklıktaki düğümlerin MAC katmanlarını verimli bir şekilde koordine edebilmesi pek de olası değildir.

MANET'ler için dizayn edilmiş çok sayıda MAC protokolü vardır. Bunlardan birçoğu WMN'ler için de çalışabilir haldedir.

WMN'deki diğer bir problem ise, eğer fiziksel katman tarafından destekleniyorsa, çoklu fiziksel kanallardan nasıl yararlanılacağıının belirlenmesidir.

#### Kanal Atama:

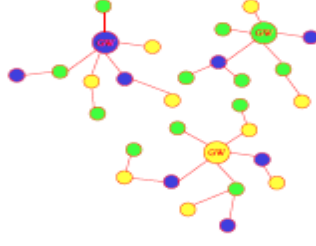


Şekil 2.2: Üç kanallı, Üç Köprülü ve 29 WMN Yönlendirmeli Bir Ağ İçin 2 Farklı Kanal Tahsisi (Mihail, 2005).

Şekil 2.2'de  $C=3$  kanal ve her yönlendiricide de  $M=1$  verici olan bir WMN gösterilmektedir (Mihail, 2005). Ortaya atılan bu iki tahsisi yönteminden hangisinin ağın kapasitesini maksimize edeceği, ağdaki her bir düğümde sunulan yüke bağlı olarak değişir. Bu iki tahsis arasında çok büyük bir ağ kapasitesi farkı olmalıdır.

Vericilerin sayısının  $M > 1$  olması durumunda ve/veya bazı teknolojiler (CDMA, UWB) tarafından kanal kapasitesinin seçimi için sunulan esneklik, problemi daha da karmaşık hale getirir. CDMA ve UWB'de farklı kod uzunluklarının, farklı oranların seçimi farklı vericiler tarafından belirlenebilir.

### Çok Kanallı MAC Katmanı:



Şekil 2.3: Özel olarak tasarlanmış bir MAC protokolü ile kanal tahsisi (Mihail, 2005)

Kanal değiştirme kapasitesine ve çoklu verici düğümlere sahip bir MAC ile eş zamanlı olarak almak ve vermek ya da tek bir iletim için birden fazla kanal kullanmak mümkündür. Bu özgürlük, daha kompleks bir MAC katmanıyla tüm performansla beraber maliyetin artmasına ve daha masraflı bir fiziksel katmana neden olur.

### Akıllı Antenler İçin MAC Katmanı:

Akıllı antenler yani yazılımla yönetilebilen yönlü antenler, 3G standartlarının bir parçasıdır. Geleneksel yönlü antenlerin daha geniş iletim seviyesi, düşük iletim enerjisi, artırılmış güvenilirlik gibi avantajlarına sahip olmalarının yanı sıra, antenin yönünü değiştirebilirler. Böylece, farklı komşular arasında geçiş yapabilir ve mobil kullanıcıları izleyebilirler.

Akıllı antenler için verimli MAC protokollerini tasarlamak çok önemli değildir, alıcı ve verici antenlerin arasında (zamanda ve uzayda) iyi bir koordinasyona ve aynı zamanda yeni katılacak düğümler için hazırlığa da ihtiyaç duyar. WMN'ler için problem özellikle mobil düğümleri desteklemenin zor olmasıdır.

### **2.5.3. Ağ Katmanı**

Ağ katmanının en önemli fonksiyonu kaynaktan hedefe paketleri çoklu sıçramalar üzerinden taşımaktır. Bu bakımdan WMN'ler 3G sistemlerinden, WLAN'lardan ve WMAN'lardan oldukça farklıdır. Tüm bu teknolojiler tek bir kablosuz link kullanır, dolayısıyla ağ katmanına ihtiyaç duymazlar. Aksine WMN ve MANET'ler için, hedef ve kaynak birbirlerinden birkaç kablosuz sıçrama uzakta olabilirler ve bu nedenle paketlerin ağ üzerinde kendi başlarına yönlendirilmeleri ve iletilmeleri gerekebilir.

### Yönlendirme:

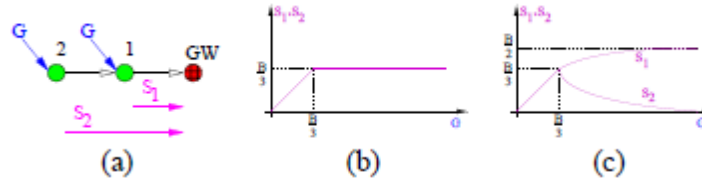
Yönlendirme protokolü her ağ için önemli bir yere sahiptir, fakat WMN'lerde başarı ile başarısızlık arasındaki fark demektir. WMN'lerin rakip teknolojilerle karşılaştırıldığında sadece yönlendirme protokolü açısından bile birçok avantajı vardır:

- a. Ölçeklenebilirlik/Verimlilik: Eğer yönlendirme protokolü büyük bir masrafa sahipse ve global bilgiye ihtiyaç duyuyorsa o zaman çok sayıda düğümden oluşan bir ağa onu ölçeklemek mümkün olmayacaktır.
- b. Güvenilirlik: Yönlendirme protokolünün düşmüş düğümler, kırık linkler etrafından hızlı bir şekilde yeniden yönlendirme yapması ve geçitin düşmesine karşılık komşu geçite, yalnız kalan düğümleri dağıtabilmesi gerekmektedir. Bu özellik için, hızlı yeniden konfigüre edebilme ve çoklu geçit desteği gereklidir.
- c. Mobil Kullanıcı Bağlanabilirliği: Kesintisiz kullanıcı bağlanabilirliğini sağlamak için, yönlendirme protokolünün hızlı hand-off yapabilmesi gerekir.
- d. Esneklik: Yönlendirme protokolünün esnek olması ve farklı ağ topolojilerine uyum sağlayabilmesi gerekmektedir.
- e. QoS: Farklı trafik sınıfları için en iyi yollarını belirlenmesi QoS desteği için en önemli bileşendir.

Ayrıca, bir WMN'ün mevcut performansı yönlendirme protokolünden etkilenir. Yük dengesi, çakışmış yollardan kaçınmak, bir WMN'deki parazit kalıplarını dikkate alma gibi faktörler WMN'ün performansını direk etkileyenlerden birkaçıdır.

MANET'ler için oldukça fazla yönlendirme protokolü tasarlanmıştır. MANET'lerde trafik akışı keyfi düğüm çiftleri arasında olurken, WMN'lerde trafiğin büyük çoğunluğu geçit ve client düğümler arasında gerçekleştirilir. MANET düğümlerin mobiliteleri genellikle aynıken, WMN'lerde düğümler mobil ya da sabit olarak sınıflandırılabilir. Bu nedendir ki WMN'ler için özel bir yönlendirme protokolü genel MANET protokollerinden daha üstün bir performans sağlayabilir.

İletme:



Şekil 2.4: WMN'lerde Tarafsızlık Çalışması (a) İki düğümlü ağda paketlerin gateway'e (GW) iletilmesi sırasında tarafsızlık çalışması. (b) 1 ve 2 düğümlerinin önerilen G yüküne bağlı bir fonksiyona olarak ideal yükleri (c) Gerçek yükleri (Mihail, 2005)

Yollar bir kez kurulduğunda, veri paketleri clientlar ve geçitler arasında iletilmelidir. Tüm klasik iletim problemlerinin yanı sıra yüzlerce binlerce akışı ölçekleme problemi de WMN'ler için geçerlidir. WMN yönlendiricileri tek bir kablosuz arayüze sahiptir ve diğer düğümlerin akışlarını iletirken kendi akışını alır ve bu da başka problemlere neden olur.

En basit durumda bile (Şekil 2.4.), kullanıcı 1, kullanıcı 2'yi kendi verisini yollayarak mahrum bırakır (Beyer, 2002). Bu haksız durum tek bir iletim kuyruğu kullanan tüm uygulamalarda görülür.

#### 2.5.4. Taşıma Katmanı

TCP şu an internette en yaygın olarak kullanılan taşıma protokolüdür. Ne yazık ki, TCP çoğu paket kaybının yönlendiricilerdeki buffer taşmalarından kaynaklandığı kablolu ağlar için tasarlanmıştır. Bu yaklaşım WMN'ler için doğru değildir, çünkü burada kayıpların çoğu zayıf kablosuz linkler, ortam erişim rekabeti ve kullanıcı mobilitesinden kaynaklanmaktadır.

Tek bir sıçramalı bir kablosuz ağda bile TCP'nin yetersiz çalıştığı çok iyi bilinmektedir (gereksiz bir şekilde iletim hatalarına ve gecikmelerine cevap verebilmek için iletim seviyesini düşürür.). WMN gibi çoklu sıçramalı bir ortamda, bir paketi kaybetme riski oldukça yüksek olduğundan TCP oldukça kötü çalışır.

WMN'ün güvenliğini sağlamak için aşağıdaki güvenlik özellikleri büyük öneme sahiptir (Aswall ve diğ., 2009) :



- *Gizlilik:* Bunun anlamı belli bir bilgi ancak ona ulaşmaya izni olan tarafından ulaşılabilir olmalıdır.
- *Bütünlük:* Bütünlük bir mesajın transferi sırasında asla kesintiye uğramamasını sağlar. Bütünlük 2 yolla tehlikeye girer:
  - a. Kasten bozma- bir mesaj kötü niyetli bir saldırgan tarafından çıkarılabilir, değiştirebilir ya da tekrar düzenlenebilir.
  - b. Kazara bozma- Böyle bir iletim hatası, ağ tarafından kasten bozma olarak adlandırılır.
- *Uygunluk:* Ağdaki tüm düğümlerin hedef gibi davranabileceği ve bencil bazı düğümlerin bazı ağ servislerini kullanılamaz hale getirebileceği ağlarda ağ servislerinin DoS saldırılarından kurtulabilirliğini sağlar.
- *Doğrulama:* Doğrulama iletişimdeki gerçek ve sahte düğümlerin ortaya çıkmasını sağlar.
- *İnkâr Edememezlik:* Bir mesajın gönderici ve alıcısının böyle bir mesajı yollayıp ya aldıklarını inkâr edememelerini sağlar. Anormal davranışlar sergileyen bir düğümün tespiti ve izole edilmesi sırasında bu özellik oldukça faydalıdır.
- *Yetki Verme:* Yetkilendirilme sırasında güvenilir olarak tanımlanmış bir varlığa yetki verilmesidir. Bu genel olarak farklı seviyelerdeki kullanıcılara farklı erişim hakları verilmesi sırasında yapılır.
- *Kişisellik:* Bir kullanıcının ya da sahibin kimliğinin tespiti sırasında kullanılan bilginin gizli tutulması ve diğer kısımlara yayılmaması demektir.

WMN'lerde güvenlik hedeflerine ulaşabilmek için aşılması gereken birçok zorluk vardır. Öncelikle WMN'lerdeki kablosuz linkler, bu sistemi aktif, pasif ataklara ve mesaj bozulmaların ayaktın bir hale getirmektedir (Muhammad ve Hong, 2007)(Zhang ve Lee, 2005). WMN'lerde pasif ataklar, gizliliği tehlikeye sokar ve aktif ataklar, uygunluk, doğruluk, doğrulama ve inkâr edemezlik kabiliyetlerinin ihlaline neden olur (Muhammad ve Hong, 2007). Fiziksel korumanın olmamasından kaynaklı düğümün kaybı/ihlali gerçekleşme ihtimali vardır. Sistemin güçsüzleşmesi sonucu dıştan olduğu kadar içten de saldırılara açık hale gelmesi mümkündür. Bir WMN hem topolojisinde hem de ağın üyelerindeki sık değişimden kaynaklı dinamik olabilir. Bu ad hoc yapı, düğümler arasında güvenli ilişkiye neden olabilir. Son olarak, WMN'lerin hafıza ve hesaplamasal kısıtlamaları olması nedeniyle, geleneksel güvenlik yöntemleri yetersiz

kalmaktadır. WMN'ler aşağıdaki önemli güvenlik problemleriyle karşı karşıya kalmaktadırlar (Aswall ve diğ., 2009).

#### Yönlendirme Protokolü Tehlikeleri:

Kablosuz mesh ağlar, yönlendirme protokolü tehlikelerine ve yol bozma saldırılarına karşı açıktır. Bu tehlikelerin birçoğu, belli bir yönlendirme protokolü bilgisine sahip paket enjeksiyonuna ihtiyaç duyar, bu tehlikeler kablosuz mesh ağlarda tektir ve aşağıdaki şekliyle tanımlanmıştır:

- a. *Siyah Delik:* Bir saldırgan, geçerli bir düğümü taklit etmek için sahte paketler üretir ve daha sonra paketleri düşürür.
- b. *Gri Delik:* Saldırmak, seçerek paketleri düşürmek, yönlendirmek ya da ağ trafiğini incelemek için bir saldırganın sahte paket üretmesidir.
- c. *Kurt Deliği:* Yönlendirme kontrol mesajları bir ağ konumundan diğerini gösterecek şekilde değiştirilir bu da yönlendirmeyi önemli bir şekilde bozar.
- d. *Yönlendirme Hata Enjeksiyonu:* Bir saldırganın mesh linkleri bozmak için sahte yönlendirme mesajları üreterek yönlendirmeyi sekteye uğratmasıdır. Diğer yönlendirme saldırılarıyla karşılaştırılınca, bunun verdiği zarar daha büyüktür; çünkü yönlendirme protokolü durum modeli hakkında detaylı bilgiye ihtiyaç duymaz. Bu tür tehlikelerin riski yönlendirme teknolojisi ve mesh ağ mimarisine bağlıdır.
- e. *Tehlikeli Düğümlerin Tespit Edilmesi:* Bir WMN için içerideki tehlikeli düğümlerin tespit edilmesi kritik bir işittir. Öncelikle, düğümün fiziksel olarak korunması çok önemlidir. Daha sonra bir düğümün ağdan çıkması ya da yer değiştirmesiyle olası bir saldırı gerçekleşebilir. Bu durum komşu düğümler tarafından ağ topolojisinde normal olmayan bir değişikliğin hissedilmesiyle belirlenebilir. İkinci olarak, bir düğüme pasif saldırı yapılabilir ki bunun tespiti çok zordur. Üçüncü durumda ise, saldırgan yönlendirme algoritması vs.ye saldırarak düğümün içsel durumunu değiştirebilir. Son ve 4. durum ise, ele geçirilerek aletin klonlanması ve ağda stratejik olarak seçilen bazı konumlara bunların kopyalanmasıdır. Bu da düşmanlara hatalı veriyi ağa sokmalarına ya da WMN'ün parçaları arasında kopukluğa neden olmalarını sağlar. Bu saldırı yönlendirme mekanizmasını ciddi bir şekilde zarara uğratır.

### Metro-Wifi Public Erişim Tehlikeleri:

Metro Wifi tehlikeleri kablosuz operatör için ağ erişim stratejisine bağlı olduğu kadar, kurulmuş mesh ürünlerine de bağlıdır. Ücretsiz public erişimi sağlayan mesh ağlar, açık doğrulamanın gerektiği durumlarda saldırılara karşı duyarlı bir haldedir.

### Kablosuz Altyapının Yanıtılması:

Evil-twin ya da man-in-the-middle saldırısını, bir bilgiyi ortaya çıkarmak için kullanan bir saldırganın tehdididir.

- a. *Denial of Service Saldırısı:* Bir DoS saldırısı ağın herhangi bir katmanında meydana gelebilir (Zhang ve Lee, 2005). Örneğin fiziksel ve MAC katmanlarında bir düşman, jamming sinyalleri üreterek iletişim ve fiziksel kanalları karıştırabilir. Ağ katmanında, saldırgan yönlendirme protokolünü bozar ve ağın bağlantısını koparır. Daha yüksek katmanlarda, yüksek seviye servislerini bozabilir. Bir saldırganın hedefi anahtar yönetim servisidir ve bu herhangi bir güvenlik frameworkü için önemli bir servistir.
- b. *Something-of-Death Saldırısı:* Protokollerin belirli bir nedene hizmet etmeleri sırasında, kötü niyetli uygulamaların DoS saldırıları için kapı açmaları muhtemeldir.
- c. *Theft-of-Service Saldırısı:* Bir saldırgan geçerli bir kullanıcı kimliğini çalabilir ya da kullanıcı ödemeleri üzerinden servis hırsızlığı yapabilir. Birçok WiFi sistemi, bir servis geçiti ya da kısıtlanmış portal kullanır, böylece ödemeli servisi korumuş olur. Doğrulamadan sonra, kısıtlanmış portal clientın geçite geçerli bir client MAC ve IP adresi ile kayıt olarak ağa erişmesini sağlar. Alternatif olarak kötü niyetli kullanıcılar, mesh ağ üzerinden bir geçit engellemesi olmadan trafiği iletebilirler. Bu saldırılar, mevcut WiFi hotspot servisleriyle karşılaştırılınca mesh ağlar için yeni bir tehlike oluşturmazlar.
- d. *Düğüm Kaybı Saldırıları:* Bu saldırılarda, saldırganlar tek bir düğümü hedef alarak, onun normal ağ operasyonlarından soyutlanmasına neden olurlar. WMN'lerde ve IEEE 802.11'de, düğümler öncelikle kendilerini mesh yönlendiriciler ya da AP'ler için doğrularlar sonra da düğüm eğer ağ kaynaklarını daha fazla kullanma ihtiyacı duymuyorsa de-authentication (Jun ve Sichitiu, 2003) yapar. Saldırgan de-authentication mesajını çalabilir ve hedef düğümün ağ kaynaklarını daha fazla kullanmasına engel olur.

- e. *İskelet Araçlarda Yetkilendirme Akışı*: WMN ve 802.11 düğümleri araştırma isteğini kullanarak bir kablosuz ağ ararlar, eğer ağ mevcutsa AP Probe-response frame ile cevap verir. Clientlar kendilerine en güçlü sinyali gönderen AP'yi seçerler (Muhammad ve Hong, 2007). Saldırgan probe request frameelerini birçok düğümün ağ aradığını gösterir şekilde değiştirerek, kandırarak AP ya da mesh yönlendirici üzerinde aşırı istek yüküne neden olur. Eşik aşıldığında da AP ya da yönlendirici servis vermeyi kesebilir.

#### Fiziksel Güvenlik Tehlikeleri:

- a. Geleneksel kablosuz ağ kurulumları, operatör ya da ajansın fiziksel ve yönetsel kontrolü ile girişimci bir çevredeydi. Dış çevre kablosuz mesh ağlar, mesh erişim noktasının operatörün fiziksel kontrolünün dışında olmasına ihtiyaç duyar. Dış kurulum, fiziksel araç güvenliği için daha çok zorluk çıkarmaktadır. Kablosuz mesh erişim noktaları binaların dışına kurulur ki burada da binlerce aynı türden cihaz ağ operatörünün fiziksel ve yönetsel kontrolü dışında bulunmaktadır. Kablolu mesh erişim noktaları ağ bağlanabilirliğine ihtiyaç duyarlar.
- b. *Pil Tükenmesi*: Bu saldırı “uyku mahrumiyet saldırısı” olarak da bilinir. Gerçek bir tehlikedir ve DoS saldırılarından daha fazla zarar verir. CPU hesaplamasına yapılan saldırı servisin kullanılabilirliğini engellerken, pil tükenmesi de kurbanı etkisiz hale getirebilir.

## **2.6. KABLOSUZ MESH AĞ UYGULAMALARI**

Çok yönlülüğünden dolayı WMN'ler birden çok uygulamanın ihtiyaçlarını karşılayabilir (Mihail, 2005).

### **2.6.1. İç WLAN Kapsamı**

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), en çok kullanılan haliyle bir Ethernet ağa bağlı olmak zorundadırlar. Birçok şirket WMN'lerin çoklu sızırma kapasitelerini bu kablolara olan ihtiyacı ortadan

kaldırmak için kullanmaya çalışmışlardır. Böyle bir kurulumu sağlamak için en azından bir WMN yönlendirici harici ağa bağlı olmalıdır, yani geçit olmalıdır. Diğer tüm WMN yönlendiriciler AP olarak da çalışırlar ve datayı bir kablosuz istemciden geçite ya da tersi yönde iletirler. WMN'ün başka bir biçimi de AP'lerin bazı modellerindeki köprüleme özelliklerini kullanmak ve birbirlerinin paketlerini iletilebilir hale getirmektedir. Bunların ana dezavantajı, çok sayıda AP'ye ihtiyaç duyulmasıdır. AP'ler birbirlerinin kablosuz alanı içinde olmak zorundadırlar. Ayrıca, AP'lerin aynı kanalda olmaları gerektiğinden (birbirlerinin verilerini iletilebilmek için buna ihtiyaç duyarlar), ve iletme verimsizliğine neden olduğundan, elde edilen ağ kapasitesi birçok kez geleneksel WLAN'in kapasitesinden daha düşük olabilmektedir.

### 2.6.2. Mobil Kullanıcı Erişimi

İyi bir şekilde dizayn edilmiş WMN kolay bir şekilde en iyi 3G'den daha iyi bir performans sağlar. 3G tarafından sağlanan tüm şeyler WMN'ler tarafından daha az masraflı bir şekilde, büyük ihtimalle de pahalı spektrum lisansına ihtiyaç duymadan sağlanır. Bu da WMN'leri 3G'ye karşı büyük bir rakip haline getirmektedir.

### 2.6.3. Bağlantı

Bazen sağlanan ağ bağlantısı kullanışsız, pahalı, zaman tüketen cinsten ve biçimsiz olabilir. Günümüzde birçok firma, WMN'leri özellikle bağlantıyı sağlamaya yönelik sağlam hale getirmişlerdir. Bu firmaların üretmiş oldukları her bir WMN yönlendiricisi uygun bir ethernet portuna sahiptir, tüm WMN yönlendiricileri kablosuz bir bulut haline alır, dışarıdan tek bir büyük Ethernet anahtarı gibi görülebilir. Bu sistemlerin dizaynında, internet erişimi ve mobil kullanıcı erişimi isteğe bağlıdır (eğer WMN kapsamına ihtiyaç duyuluyorsa IEEE 802.11 AP'leri WMN düğümlerine bağlanabilir.). Geleneksel Ethernet kablolarıyla karşılaştırıldığında geliştirilen bu ürünlerinin ana avantajları şunlardır:

- *Hızlı Kurulum:* Eğer hızlı kurulumla ihtiyaç duyuluyorsa, ağ bağlantısını sağlamak için ihtiyaç duyulan tek şey, uygun alanlardaki güç soketlerine eklenmiş WMN'lerdir. Hızlı kurulumla ihtiyaç duyulmasa bile, bazı durumlarda kabloların döşenmesi için kapatılmanın mümkün olmamasıdır (havalimanı gibi).
- *Estetik Görünüm:* Bazı durumlarda kablolar için delikler açmak pek istenmeyebilir (oteller).

#### 2.6.4. Geniş Band Internet Erişimi

Günümüzde birçok internet geniş band bağlantısı hem kablo hem de DSL üzerinden sağlanır. Maalesef, popülasyonun büyük bir çoğunluğu (özellikle kırsal bölgelerde, fakat aynı zamanda büyük şehirlerde, hatta gelişmiş ülkelerde bile) internete bağlanmak için gerekli geniş band altyapısına sahip değil. İhtiyaç duyulan altyapıyı sağlamak pahalıdır, özellikle de internet servis sağlayıcıları için.

Birçok şirket WMN'lerin bir internet erişim çözümü olduğunu fark etmiş ve buna uygun ürünleri piyasaya sürmüştür. WMN'ler internet geniş band erişim teknolojisi olarak dikkate değer avantajlara sahiptir:

- *Düşük Ön Ödeme Masrafı:* Kurulacak hiç kablo olmadığı için, kablo ve DSL ile karşılaştırıldığında, büyük ölçüde masraf düşürülmüştür. İlk kullanıcılar için besleme olarak adlandırılabilir minimal kapsamı sağlayan bir WMN kullanılabilir, kullanıcı sayısı arttıkça ağ da genişletilebilir.
- *Hızlı Kurulum:* Mevcut WMN'e yeni bir client eklemek, birkaç ay –kablo ya da DSL için kurulum gecikmesi- yerine birkaç saat alır.
- *Dayanıklılık:* Özellikle çoklu geçitler kullanılıyorsa, tüm tek kırılma noktaları elenir. Duyarlı bir yönlendirme algoritması bozuk link ya da düğümlerin etrafından yönlendirme yapar, geçit bozulması durumunda buna bağlı düğümler yakındaki geçitlere dağıtılır.
- *Müşteri Kapsamı:* Çok sıçramalı yönlendirme yeteneğinden kaynaklı, tek bir baz istasyonuna LoS'a ihtiyaç duyulmaz. Bir istemci diğerlerinden biriyle bağlantı sağlayabildiği sürece internet erişiminden yararlanır. Özellikle engellerin çok olduğu senaryolarda (yüksek binalar, ağaçlar), bir P-MP (point-to-multipoint - 802.16) ile karşılaştırıldığında bir WMN'ün gözle görülür biçimde kapsamı arttırmıştır.

Kablosuz ağ uygulamaları mevcut haliyle evlerde birçok “ölü noktalara” sahiptir. WMN ile kurulan bir genişbant ev ağında ise kapsamı arttırmak için fazladan fiziksel donanıma gerek kalmadan sadece mesh yönlendiricinin yeri değiştirilerek veya sinyal gücü artırılarak kapsam da genişletilebilir. Ad-hoc ve kablosuz algılayıcı ağlar bu türde uygulamaları desteklemek için fazla veri yüküne sahip olacaktır, WMN'ler bu konuda yük dengeleme sağladığı için idealdir. Aynı şekilde bir mesh yönlendiriciler zinciriyle

birden fazla evi hatta bir mahalleyi kapsayacak şekilde mesh yönlendiriciler konumlandırılabilir. Bu duruma bakarak bir iş merkezinin, plazanın veya fabrika kompleksinin bile WMN kapsamına alınabileceğini söylemek yanlış olmaz. Bir şehir için de WMN'ler çok uygundur; doğru konumlandırılmış ve doğru konfigüre edilmiş yönlendiriciler ile bir şehir tümüyle mesh ağ içine dahil edilebilir. Özellikle maliyet açısından kablo ve mevcut IEEE.802.11 Kablosuz LAN yönlendiricileri ile kurulmaya çalışacak bu kapsamda bir ağın maliyeti, WMN'lere göre çok daha yüksek ve verimsiz olacaktır.

## **2.7. KABLOSUZ MESH AĞLARDA YÖNLENDİRME**

Yönlendirmede amaç paketleri kaynaktan hedefe iletebilmektir. Herhangi bir yönlendirme protokolünün genel yönlendirme gereksinimleri: 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 sağlamak, yolların bakımı ve seçimi, seçilen yollara bağlı olarak trafiği iletmek gibi fonksiyonları sağlamaları gerekmektedir. Öz-organizasyonlu ağlar için yönlendirme protokolü tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır (Chun ve diğ., 2000):

### Yönlendirme Mimarisi:

Yönlendirme mimarisi hiyerarşik ya da düz olabilir. Birçok öz-organizasyonlu ağda, hostlar bağımsız yönlendiriciler gibi davranır. Bu da yönlendirme mimarisinin kavramsal olarak düz olması demektir, yani her adres sadece bir kimlik olarak hizmet verir ve bir hostun topolojik olarak diğer birine göre konumlandırılmasıyla ilgili hiçbir bilgi taşımaz. Düz bir öz-organizeli ağda, tüm düğümler birbirlerine yönlendirme protokolleri vasıtasıyla görünür olduklarından, mobilite yönetimi gerekli değildir. DSDV, WRP (Chun ve diğ., 2000) gibi düz yönlendirme algoritmalarında, yönlendirme tablosunda ağdaki tüm hostların kaydı tutulur. Fakat düz bir yönlendirme algoritması iyi ölçeklenebilir değildir. Ağ büyümeye başladığında, yönlendirme masrafı hızlı bir şekilde artar. Bundan dolayı, kanalın yeniden kullanımını uzamsal olarak kontrol etmek

ve yönlendirme bilgisi masrafını azaltmak için hiyerarşik mekanizmaların bazı çeşitleri kullanılmalıdır.

Kümeleme en çok kullanılan tekniktir. Hiyerarşik yönlendirmenin arkasındaki fikir, öz-organizeli ağların hostlarını bir dizi üst üste binmiş ya da ayrıık kümeler halinde bölmektir. Her küme için bir düğüm küme başı olarak seçilir. Bu düğüm, küme için üyelik bilgilerini düzenler. Küme başı olmayan diğer düğümler basit düğümler olarak adlandırılır. Bir basit düğüm paket göndermek istediğinde, düğüm paketi küme başı düğüme gönderebilir o da hedefe iletir. CGSR ve CBRP, bu türdeki yönlendirme şemalarındandır (Chun ve diğ., 2000). Hiyerarşik yönlendirme, küme yönetimi ve adres/mobilite yönetiminden oluşur.

#### Tek Yönlü Link Desteği:

Neredeyse tüm yönlendirme protokolleri tüm linklerin iki yönlü olduğunu varsayar. Fakat kablosuz linkleri tek yönlü yapacak bir grup etken vardır. Bunlar:

- 1) *Farklı Radyo Kapasiteleri:* Bir ağ içindeki radyolar, farklı verici güçlerine ve alıcı duyarlılıklarına sahiptir. Buna en güzel örnek araç radyosu ve man-pack radyoların bulunduğu düzenli bir ortamdır. Araç radyosu, büyüklük ve ağırlık bakımından daha az kısıtlanmıştır, man-pack rakiplerinden 12dB daha fazla bir verici gücüne sahiptir (Chun ve diğ., 2000). Tek yönlü linkler, bu gibi ortamlara fazlasıyla uygundur.
- 2) *Parazit:* İster düşman frekans bozucu ister dost parazitler olsun bu durum yakındaki alıcıların hassasiyetini bozacaktır. Örneğin, A hostu, eğer yakınında oldukça ufak bir parazit varsa, B hostundan gelen paketleri alabilir. Ancak, B bir parazit düğümün yakınında yer alabilir. Bu durumda A'dan paketleri alamaz. Yani A ile B arasındaki link B'den A'ya yönelir.
- 3) *Mesaj Yayılım İhtiyacı:* Geniş alan mesaj yayımının öneminde bir artış bulunmaktadır. Uydu-tabanlı vericiler, aşağı linkler için kullanılırken, yukarı linkler alternatif yolları kullanır.
- 4) *Sessiz Mod:* Uç bir örnek verilirse, sadece düzgün alanlara uygun şekilde, olası tehlikeler karşı hostların iletim yapmaması durumudur. Bu durumda, iki yönlü iletişime katılabilmek için hala bilgi alma ihtiyacı hisseder.



- 5) *Link Yönü*: Durum zaman değişkenidir. Kablosuz linkin yönlü durumu kalıcı ya da kısa süreli bir şey olabilir. Bu tür bağlantının frekansı ve her durumda kalış süresi önerilen trafiğin, arazinin, mobilitenin ve enerjinin uygunluğunun bir fonksiyonu olacaktır.

#### SuperHostların Kullanımı:

Mevcut tüm yönlendirme algoritmaları, öz-organizeli ağların doğası gereği eşit eşlerin, iletişim için birbirlerinin servislerini kullanma ilkesine dayanarak, tüm mobil hostların aynı özelliklere sahip olduğunu varsayar. Bu bazı durumlarda doğru olmasına karşın, ağın üstün bandwidth'e, garantili güç beslemesine ve yüksek hızlı kablosuz linklere sahip hostlarının olduğu durumlar da bulunmaktadır. Bu türdeki hostlar SuperHost olarak adlandırılır. Örnek olarak, düşük kapasiteli man-pack radyolarla donatılmış birkaç asker ve yüksek kapasiteli araç radyolarına sahip tanklardan oluşan bir ordu verilebilir. Öz-organizeli ağlar bu durumda genel olarak iki seviyeli ağ mimarisine sahiptir: iskelet-alan ve alt-alan. İskelet alan SuperHostlardan oluşur. Ayrıca, SuperHostlar çoğunlukla normal hostlardan daha düşük mobiliteye sahiptir, böylelikle iskeletin kararlılığını koruyabilirler. Normal hostların yönlendirmeye karar verme zorunlulukları yoktur. Örneğin, bir uydu hostu (SuperHost) kolaylıkla normal hostların coğrafik konumlarından yönlendirme bilgisini toplayabilir, yönlendirme tablosunu oluşturur ve bu yolları yayar.

#### QoS Yönlendirme:

Şimdiye kadar ad-hoc ağlar için geliştirilmiş birçok yönlendirme protokolü bulunmakta ve bunlar tek bir ölçütü temel almaktadır: sıçrama uzaklığı. Dolayısıyla en kısa yol tercih edilmektedir. Datagram trafiği için en kısa yol yönlendirmesi yeterli olabilir. Ancak, öz-organizeli ağlardaki kablosuz linkler tipik olarak dinamik ve kısıtlıdır, bu da verimli kaynak tahsisini ya da bu tür ortamda kritik gerçek zamanlı uygulamaların gerçekleştirilmesini zorlaştırır. Bu durum göz önüne alındığında, ağ üzerinde akabilecek olan toplam trafiği efektif olarak kontrol edebilmek için QoS yönlendirme desteğine ihtiyaç duyulur. QoS yönlendirme, akışların QoS ihtiyaçlarının olduğu kadar ağdaki kaynak uygunluğuna göre belirlenen akışlar için yolların altında bir yönlendirme mekanizmasıdır. QoS yönlendirmenin anlamı, istenilen QoS parametreleri için yeterli kaynaklara sahip yolların seçilmesidir. QoS yönlendirmenin iki hedefi vardır: ilki, her bir kabul edilmiş bağlantı için QoS ihtiyaçlarını karşılamak; ikincisi ise, kaynak

tahsisinde global verimliliğe ulaşmaktır. Bu nedenle QoS yönlendirme, birden fazla kısıtlamayı göz önüne alacak ve farklı trafik tipleri için trafiği farklı yollara bölerek daha iyi bir yük dengesi sağlayacaktır. Aksine, mevcut yönlendirme protokolleri bir darboğaza neden olacak olan en kısa yola bağlı olarak yönlendirme yapmaktadırlar. Öz-organizeli ağda, dikkate alınacak bazı ölçütler vardır:

- a. En güvenilir yol
- b. En kararlı yol
- c. Maksimum toplam güç sağlayan yol
- d. Maksimum uygun bandwidth yolu

Yukarıdaki ölçütlere dayanarak minimum maliyetli yolları seçmek arzu edilendir.

#### Multicast Desteği:

Bildiğimiz üzere, multicast yönlendirme bir ağ katmanı fonksiyonudur ve bu katman tüm düğümlere değil sadece bir iletişim ağı içindeki birçok düğüme bir kaynaktan paket göndermek için yolları düzenlemekle sorumludur. Multicast yönlendirme, alıcılara giden yollarda paylaşılan iletişim linkleri üzerinden çoklu alıcılara veri paketinin bir kopyasını eş zamanlı olarak yollar. Alıcılara giden yol demetindeki paylaşılan linkler, multicast paketlerinin dağıtımında kullanılan bir ağacı kesin olarak tanımlar.

Unicast yönlendirmenin aksine, multicast yönlendirme grup iletişimini sağlamak için oldukça verimli ve kullanışlı bir yöntemdir. Özellikle, bandwidth'in sınırlı ve enerjinin de kısıtlı olduğu öz-organizeli ağlar için oldukça faydalıdır. Öz-organizeli ağlarda multicast yönlendirmenin gerçekleştirilmesi, işbirlikçi görüntüleme ve multimedya konferansının yanı sıra felaket ya da askeri senaryolardaki kritik durumlarda bilgi dağıtımını da sağlar.

Multicast yönlendirme, son yıllarda oldukça popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir. Öz-organizeli ağlar, yayın karakteristiklerinden dolayı unicastten ziyade multicast için daha uygundur.

Öz-organizeli ağlarda, multicast yönlendirmeyi çalıştırmak başka sorunların oluşmasına neden olur. Geleneksel multicast protokolleri (Chun ve diğ., 2000) şu nedenlerden dolayı ortama uyumlu değildir:

- 1) Kaynak tarafından üretilen yol istek hareketi, kaynak üretimli protokolleri verimsiz kılar.
- 2) Multicast üyeler hareket eder, bu da sabit multicast topolojinin kullanımını engeller.
- 3) Geçici döngüler, yayılım ağacının yeniden düzenlenmesi sırasında oluşabilir.
- 4) Öz-organizeli ağlardaki el araçlarının sınırlı kapasite ve güce sahip olması nedeniyle, multicast durum bilgisinin oluşturulması bunlar üzerinde çok fazla baskı yaratır.

## 2.8. YÖNLENDİRME METRİKLERİ

Radyo kaynaklarının verimli bir şekilde paylaşılabilmesi için, kablosuz mesh ağlara yönelik birçok yönlendirme metriği dizaynı yapılmıştır. Bu metrikler arasındaki performans farklılıklarını ölçmeye yönelik çalışmalar yapılmışsa da tam olarak ifade edebilen bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Fakat bunların hiçbiri herkes tarafından kabul edilmiş ortak bir metrik değildir. Bunun birçok sebebi vardır:

### Karmaşıklık Seviyesi:

Kolayca elde edilebilecek bazı topolojilerin ya da trafik tabanlı parametrelerin karşısında, çakışma bir problemdir. İlk olarak, kanal kalitesi, zamanla evrimleştiği ve coğrafik olarak değiştiğinden değerlendirilmesi zor olabilir. Bir gönderici ve alıcı, çakışmanın farklı seviyelerinden etkilenebilir. Bu çakışma eğer iletim seviyeleri uygun bir şekilde belirlenmemişse yüksek paket kaybına sebep olabilecek zayıf kalitede bir iletme neden olur. İkincisi, iletim ortamının aynı komşuluk içinde ve aynı frekans bandında yapılandırılmış olan tüm düğümlerin iletim ortamına erişmek için mücadele etmeleri nedeniyle uygun bir link tahsisinin gerçekleştirilmesi zordur. Tüm düğümler için trafik karakteristikleri ile ilgili kesin bilgi olmaksızın bakımları yapılabilir. Ayrıca, kontrol mesajlarının değişimi genellikle link kalitesi ölçümlerin ağ üzerinde dağıtılması için gereklidir. Bu operasyonların masrafı, kayıplı ya da sıkışmış linklerden kaçınarak elde edilen gerçek gelişimi gölgede bırakabilir.

### Karşılaştırma Yoksunluğu:

Her sunulan metrik, bazı sınırlı senaryolar içinde, belli parametrelerle sadece mevcut yönlendirme metriklerinin küçük bir alt kümesi içinde değerlendirilir.

### Anlayış Eksikliği:

Kablosuz mesh ağlar için farklı yönlendirme metriklerinin mevcut değerlendirmeleri sadece bazı başarılı senaryolar için üretilmektedir. Metrikler açısından bakıldığında, verimlilik çok nadir sağlanabilmektedir. Bu durumlarda, eğer farklı ağ ayarları göz önüne alınmışsa, belli bir metriğin performansını tahmin etmek zor olacaktır WMN'ler yüksek servis alanı sağlarken, ucuz kurulumda da olanak tanımaktadır.

Mevcut kurulumlar (Waharte ve diğ., 2008)(Rayner, 2003), WMN'lerin yüksek potansiyellerini ve ticari değerlerini ortaya koymuştur. Buna rağmen müşterilerin servis kalitesinin keskinleşmesi için ortaya koydukları artan isteklerini karşılamak için yeterli kaynak yönetimi ve servis sağlama mekanizmaları geliştirilmelidir.

Kablosuz mesh ağlar da mevcut kullanılan yönlendirme metrikleri ve diğer tipteki ağlar için geliştirilen (ad-hoc ağlar); fakat kablosuz mesh ağlara adapte edilen yönlendirme metrikleri:

#### **2.8.1. Sıçrama Sayısı (Hop Count)**

Sıçrama sayısı, kablosuz çoklu sıçramalı ağlarda en çok kullanılan metriktir. Seçilen yol bir kaynakla hedef arasındaki link sayısından minimize edilmiş olanıdır. Bu metrik, ad-hoc ağlarda oldukça popülerdir, çünkü farklılaştırma kriteri olarak sadece yol uzunluğunu göze aldığı için hesaplama kolaylığına sahiptir. Diğer taraftan bu metrik, belirli kablosuz ortamlarda başarısız olabilir (linkler belki farklı iletim seviyelerine, kayıp oranlarına vs. sahiptir.) ve iletim ortamının paylaşılmasından dolayı ortaya çıkacak olan tıkanmayı göz önüne almaz.

#### **2.8.2. Bloklama Metriği (Blocking Metric)**

Parazit sayısı bloklama değeri olarak ifade edilir. Her düğümün bu bloklama değerine göre ağırlıklıdır. En düşük masrafa sahip yol bu nedenle trafik akışını taşımaktadır. Bu metrik, komşuların sayı bilgisini korumaktan başka ek bir masraf getirmemektedir. Bunun yanında link kapasitesi ya da trafik akışını göz önüne alan hiçbir karakteristiği ortaya koymamakta ve sadece yüzeysel bir şekilde parazit konusu üzerinde durmaktadır.

### 2.8.3. Beklenen İletim Sayısı (Expected Transmission Count - ETX)

ETX, bir paketin kablosuz bir link üzerinden başarılı bir şekilde teslim edilmesi için gereken iletimlerin sayısıdır (Wei ve diğ., 2004). Bir yolun ETX'i yol boyunca yer alan her linkin ETX'lerinin toplamıdır.  $p_f$  ve  $p_r$  ileri ve geri yönlerdeki paket kayıp olasılığı olsun. Başarısız bir iletim olasılığı,  $p$ :

$$p = 1 - (1 - p_r)(1 - p_f) \quad (2.1)$$

Bundan dolayı, 1 sıçrayışta başarılı bir şekilde bir paketi teslim edilebilecek iletimlerin sayısı da;

$$ETX = \sum_{k=1}^{\infty} kp^k(1-p)^{k-1} = \frac{1}{1-p} \quad (2.2)$$

ile ifade edilir.

Teslim oranları 134 bytelık kontrol paketleri kullanılarak ölçülür. Her  $\tau$  saniyede bir, bir kontrol paketi gönderilir. Paket kayıp oranı, önceden tanımlanmış bir zaman aralığında alınan kontrol paketlerinin sayısı ile hesaplanır.

ETX, artan self-parazit yüzünden, daha uzun yollar daha düşük yük miktarına sahip oldukları için, yolları daha yüksek yük ve daha az sayıda sıçrama ile destekler. Bunun yanında, bu metrik, iletim seviyeleri arasındaki farkı göz önünde bulundurmaz. Bir kontrol paketinin göndericisi, eğer kanalın meşgul olduğunu hissederse paketi göndermeyi erteleyeceğinden, tam anlamıyla iletim ortamındaki paraziti yakalamaya imkân tanımaz. Kontrol paketlerinin iletim seviyesi genellikle düşük olduğundan, bir linkin gerçekten ne kadar meşgul olduğu ile ilgili sağlam bilgi vermez. Ayrıca, verimli link paylaşımıyla ilgili de bir bilgi vermez.

### 2.8.4. Beklenen İletim Zamanı (Expected Transmission Time - ETT)

ETT, ETX üzerinden EX'deki hesaplamaya bandwidth'in de dâhil edilmesiyle yapılmış bir geliştirmedir (Couto ve diğ., 2003).  $S$  paket boyutu,  $B$  de ele alınan linkin bandwidth'i olsun. ETT:

$$ETT = ETX \frac{S}{B} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır.

ETX'le benzer şekilde, bir yolun beklenen iletim zamanı, yol boyundaki tüm linklerin ETT'lerinin toplamına eşittir.

Daha sonra ortaya atılan ağırlıklı birikimli ETT (Weighted Cumulative ETT - WCETT) (Couto ve diğ., 2003), çeşitli kanallı yolları dikkate almak için dizayn edilmiştir. Bir  $p$  yolu için WCETT şu şekilde tanımlanır:

$$WCETT_p = 1 - \beta \sum_{linki \in p} ETT_i + \beta \max_{1 \leq j \leq k} X_j \quad (2.4)$$

Burada  $\beta$ , 1'den küçük ayarlanabilir bir parametredir ve  $X_j$ ,  $j$  kanalının  $p$  yolu boyunca kaç kez kullanıldığını göstermektedir.

Yine de bu metrik hala efektif link paylaşımını hesaplamadığı için ETX/ETT gibi aynı kısıtlamalardan etkilenir ve inter-flow paraziti tam olarak yakalamaz.

### 2.8.5. Modifiye Edilmiş Beklenen İletim Sayısı (Modified Expected Transmission Count - mETX)

(Draves ve diğ., 2004)'de, ETX'in kanal çeşitliliğini göz önüne almadığı ve sadece ortalama kanal davranışını önemseydiği için bu eksikliği gidermek için bir genişletme yapılmıştır. mETX şu şekilde ifade edilir:

$$mETX = \exp(\mu_{\Sigma} + \frac{1}{2} \sigma_{\Sigma}^2) \quad (2.5)$$

Bu metriğin uygulanmasındaki ana engel, iletim kanalının değişkenliğini tam anlamıyla modellemek ve ölçmektir.

### 2.8.6. Ağ Tahsis Vektör Sayısı (Network Allocation Vector Count - NAVC)

NAVC (Koskal ve Balakrishnan, 2006), verilen bir inceleme periyodu için, bir link boyunca bir düğüm tarafından gözlemlenen Ağ Tahsis Vektörlerinin ortalamasının alınması ile elde edilen interflow parazit ile ilgilidir. Elde edilen değere göre, düğüme bir sıkışma seviyesi atfedilir. Yol bulma işlemi boyunca, 2 parametre elde edilir: heavy\_node\_number ve nav\_sum. Bir ROUTE REQUEST paketinin alınması ile beraber, bir düğüm ölçülen NAVC değerine göre 3 seçeneğe sahip olur:

- I. Eğer  $NAVC > 0.65$  ise: heavy\_node\_number değerini 1 arttır, nav\_sum ile  $NAVC^2$ 'yi topla.
- II. Eğer  $0.25 \leq NAVC \leq 0.65$  ise: nav\_sum değerini NAVC kadar arttır.
- III. Eğer  $NAVC < 0.25$  ise: hiçbir şey yapma.

Bir düğümün masrafı yol üzerindeki her düğümün heavy\_node\_number'ları ile nav\_sum'larının toplamına eşittir. Yollara ilk olarak heavy\_node\_number, ikinci olarak da nav\_sum değerlerine göre öncelik verilir.

### 2.8.7. Arayüz ve Kanal Anahtarlama Metriği (Metric of Interface and Channel Switching - MIC)

MIC, WCET üzerinden verimli link paylaşımı ile ilgili daha fazla bilgi edinerek geliştirme yapmak amacıyla tasarlanmıştır. N düğümden ve p yoldan oluşan bir ağ için, MIC mevcut tüm linkler üzerinden iletim yapmak için zamanı ortalar. WCETT'ye benzer şekilde, MIC kanal çeşitliliğini hesaba katmak için Kanal Anahtarlama Masrafı (Channel Switching Cost - CSC) adı verilen bir terim eklemiştir.

$$MIC_p = \frac{1}{N \times \min(ETT)} \sum_{link l \in p} IRU_l + \sum_{node i \in p} CSC_i \quad (2.6)$$

$\min(ETT)$ , ağdaki en küçük ETT'yi ve  $IRU_l$  de aşağıdaki şekilde tanımlanan, parazit haberli kaynak kullanımını temsil eder.

$$IRU_l = N_l \times ETT_l \quad (2.7)$$

$$CSC_i = \begin{cases} w_1, & \text{if } CH_{prev\ i} \neq CH(i) \\ w_2, & \text{if } CH_{prev\ i} \equiv CH(i) \end{cases} \quad (2.8)$$

$$0 \leq w_1 < w_2$$

$N_{i-1}$  linkinin parazitlendiği düğümlerin sayısı,  $ETT_i$  l linkindeki beklenen iletim zamanını,  $CH(i)$  i düğümün kanal atamasını ve  $prev(i)$  ise p yolu boyunca i düğümünden önceki düğümü gösterir.  $IRU_{i-1}$  linki tarafından tüketilen toplam kanal zamanıdır. CSC, belirli bir yol üzerinde bir linkten önceki linkin kullandığı kanalın bir fonksiyonu olarak bir linke atanan bir ağırlıktır. Eğer her iki link de aynı kanalı kullanıyorsa, linke daha büyük bir ağırlık atanır.

Bu metrik, uygulama bakımından, bazı büyük dezavantajlara sahiptir. Her linke ait ETT'nin güncel bilgisini sağlamak için ihtiyaç duyulan masraf trafik yüküne bağlı olarak ağ performansını ciddi şekilde etkileyebilir. İkinci olarak, bu metrik çakışma alanında yer alan tüm linklerin her düğümdeki trafik yükü farklılıklarından habersiz olan aynı seviyedeki parazite katkıda bulunduğunu varsayar.

Her ne kadar birçok yönlendirme ölçütü varsa da, ortak bir görüş yoktur. Şimdiye kadar ETX ve ETT gibi basit dizayn ölçütleriyle tasarım gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.1'de ortaya konulan bu ölçütlerin ana karakterleri belirtilmektedir.

Metric	Quality - aware	Data rate	Packet size	Intra - flow interference	Inter - flow interference	Medium instability
Hop	X	X	X	X	X	X
ETX	√	X	X	X	X	X
ML	√	X	X	X	X	X
ETT	√	√	√	X	X	X
WCETT	√	√	√	√	X	X
MIC	√	√	√	√	√	X
mETX	√	√	√	X	X	√

Tablo 2.1: Ana Yönlendirme Ölçütlerinin Karakteristik Özellikleri (Campista ve diğ., 2008)

## 2.9. KABLOSUZ MESH AĞLARDA YOL SEÇİMİ

WMN'lerde yönlendirme çoklu sıçramalar üzerinden bağlanabilirliği uç kullanıcılara kadar genişletir. Paketler bir ya da daha fazla yol üzerinden, farklı kanallar kullanılarak iletebilir. Uygulamanın ihtiyaçlarına göre, bir yönlendirme protokolü bir ya da daha



fazla yönlendirme metriğini optimize etme üzerinde odaklanabilir. Yol uzunluğu, uçtan-uca gecikme ya da paket kaybı gibi parametreler bir uygulama tarafından ihtiyaç duyulan kalite seviyesine göre önem derecesine sahiptir. Parazit, dikkate alınması gereken başka bir önemli faktördür. Bu nedenle, kablosuz iletişimlerde, çeşitli performans düşmeleri, eş zamanlı veri iletiminin yarattığı parazitlenmeden kaynaklanabilir (Bellardo ve Savage, 2003). İletim ortamının paylaşılması, gönderici ya da alıcının alanında olan tüm düğümleri, devam eden iletişim tamamlanana kadar sınırlandırabilir. Grupta ve Kumar'ın çalışmasında (Gupta ve Kumar, 2000),  $n$  özdeş düğümlü bir ağda, her bir düğüm tarafından ulaşılabilecek yük miktarı, rastgele düğüm yerleşimi ve iletişim kalıbıyla,  $\Theta(1/\sqrt{n \log n})$ 'dir. Optimal bir düğüm yerleşimi ve iletişim kalıbının olduğunun kabul edildiği bir durumda, bu yük  $\Theta(1/\sqrt{n})$  olacaktır.

Parazit şu durumlarda meydana gelebilir:

- Tek bir akış içerisinde (intra-flow parazit); iki düğüm arasındaki bir iletişim bir yol üzerinde parazit alanında olan geliş ve gidiş düğümlerini bloklayabilir.
- Bir ya da daha fazla kaynaktan gelen çoklu akışlar arasında (inter-flow parazit); bu fenomen, yol ikileme efekti olarak adlandırılır.

Bu nedenle, ağ boyunca yeni bir akış gönderildiğinde, mevcut akışları ya da yeni akışları var olanlara eklemenin etkileri göz önüne alınmadan, gerçek beklenen performans elde edilemeyeceğini göz önünde bulundurmak gerekir. Yönlendirme metrikleriyle ilgili doğru bir bakış yakalayabilmek ve bunların tasarımlarını araştırmak için, öncelikle bu metrikleri karşılaştıracığımız bir kriter seti belirlemeliyiz. Bu liste kapsamlı olmamasına rağmen, performans üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu düşündüğümüz bir grup faktörü kapsamaktadır.

Farklı parametreler, bir yönlendirme metriğinin hesaplamasında görev alabilirler. Bunlar arasında, en fazla dikkate alınacaklar şu şekilde sıralanabilir:

#### Yol Uzunluğu:

Bir kaynak ve hedef arasındaki sıçramaların sayısı, bir yolun uzunluğunun daha fazla self-parazit (aynı yol boyunca linkler arasındaki parazit) ve buna bağlı olarak da daha fazla uçtan-uca gecikme demek olduğu için, kriterlerin karşılaştırılmasında en çok kullanılanlarından olup, önemli bir yere sahiptir. Uzun bir yol boyunca iletilen bir akış ayrıca, bu yola coğrafik olarak yakın olan çok sayıda linki de etkiler.

### Band Genişliği:

Bir ağda, farklı veri seviyelerini destekleyen linklerin bulunması ortak bir durum değildir. Bu durum teknik sınırlamalar ya da kablosuz ağlar, çevresel gürültü ve sinyal gücünden kaynaklanabilir. Kapasitedeki bu farklılık, sadece göz önüne alınmış linkler üzerinde değil, aynı zamanda coğrafik olarak yakın olan linklerin kapasitesi üzerinde de bir etkiye sahiptir. Aslında, daha düşük kapasiteli linklerin kullanımı hem ele alınan linklerin üzerinden geçen akış gecikmesini artırır hem de komşu iletişimlerin ulaşılabilir seviyesini bunların parazit seviyesini artırarak azaltır. Mevcut donanımlar, iletim ortamının kalitesine bağlı olarak seviye adaptasyonuna izin verir, bu bilginin elde edilmesi ve korunması gözle görülür şekilde ağ performansını artırır.

### Parazit:

İletim ortamının paylaşılan yapısı gereği, aynı kanaldan iletişim yapan düğümler, eğer aynı coğrafik alanda konumlanıyorsa, birbirlerini parazitleyebilirler. Yönlendirme metriğinde parazitlenmeyi birleştirmek ağ sıkışmasıyla mücadeleye ve toplam ağ performansını iyileştirmeye yardımcı olabilir.

### Paket Kaybı:

Kanal kalitesi bir iletimin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gereken tekrar iletim sayısı tahmin edilerek değerlendirilebilir.

Ayrıca, yönlendirme metriklerinin karmaşıklığının seviyesinin aşağdaki gibi parametrelere dayanmaktadır:

- Düğüm başına (per node)/ link başına (per link) metriği: Bir link başına metriği her bir link bilgisinin korunmasına izin verirken, düğüm başı metriği, aynı masrafa sahip tüm linklerin bir düğüme bağlandığının varsayılmasıyla değerlendirilir.
- Bilgi: bir metrik farklı bilgilere dayanarak hesaplanabilir: paket kaybı, düğümlerin sayısı, komşuların sayısı, trafik karakteristikleri gibi.
- Parazit: farklı seviyede karmaşıklığa sahip farklı stratejiler, parazit hesabı için ortaya konulabilir.

## 2.10. WMN'LERDE KULLANILAN YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Mesh yönlendirme protokolleri Proaktif Yönlendirme, Reaktif Yönlendirme ve Hibrit Yönlendirme olarak üçe ayrılır.

### 2.10.1. Reaktif Yönlendirme Protokolleri

Reaktif yönlendirme protokollerinde yönlendirme yolları ne zaman ihtiyaç olursa o zaman bulunur. Bir yön bulma işlemi; keşif prosedürünü çağırır. Keşif prosedürü ya bir yol bulunduğunda ya da bütün olasılıklara rağmen bir yol bulunmadığında sonlanır. Reaktif yönlendirme protokolleri: Link Kalitesi Kaynak Yönlendirme Protokolü (Quality Source Routing Protocol – LQSR) ve SrcRR Yönlendirme Protokolü

#### 2.10.1.1 Link Kalitesi Kaynak Yönlendirme Protokolü (LQSR)

Microsoft Araştırma Grubu tarafından önerilmiştir. Dinamik Kaynak Yönlendirme algoritmasına dayanmaktadır. Bu algorithmada 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 yönlendirme istek (RREQ) paketi ulaştığı zaman bağlantı kalite metriğini ekler. Bir kaynak düğüme yönlendirme cevap (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.

#### 2.10.1.2. SrcRR Yönlendirme Protokolü

Paket yollama metodunu kullanmaktadır. SrcRR ağırlıklı olarak beklenen iletim sayısı (ETX) metriğini kullanmaktadır. ETX, kablosuz bağlantı üzerinden başarıyla gönderilen bir paketin iletim sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bağlantı kalitesi ve yol kalitesinin bir ölçüsüdür. ETX metriği aşağıda gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.  $d_f$  ölçü oranı veya bir paketin başarılı bir şekilde ulaşma olasılığı,  $d_r$  başarılı bir şekilde alınan ilgili bildirim paketi olasılığını göstermektedir.

$$ETX = \frac{1}{(d_f + d_r)} \quad (2.9)$$

Her düğüm link cache'i korur; eğer link cache'de bir değişiklik olursa düğüm diğer düğümlere olan en kısa yolları hesaplar. Bir düğüm başka bir düğüme veri paketi göndermek istediğinde, RREQ paketi gönderir. Bir düğüme RREQ paketi ulaştığında, isteğin ulaştığı düğüm ID ve geçerli olan ETX metriğini ekler ve yeniden yayar. Eğer bir düğüm RREQ paketini ilk defa alıyorsa, paketi gönderir. Eğer düğüm farklı yollar üzerinden gelen RREQ paketi alıyorsa, en iyi yönlendirme metriğine sahip olduğu zaman gönderebilir.

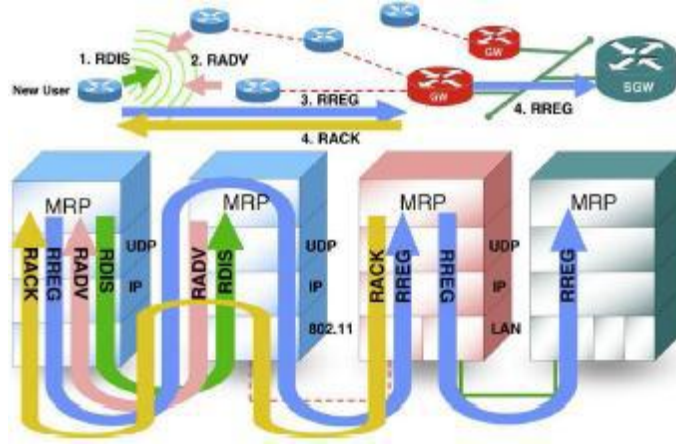
### **2.10.2. Proaktif Yönlendirme Protokolleri**

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. Proaktif yönlendirme protokolleri: Mesh Yönlendirme Protokolü (Mesh Routing Protocol - MRP) ve Isı Kullanarak Ölçeklenebilir Yönlendirme Protokolü (Scalable Routing using heat Protokol), Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Destination Sequenced Distance Vector Routing Protocol- DSDV), Optimize Edilmiş Link Durum Yönlendirme Protokolü (Optimized Link State Routing Protocol - OLSR)

#### *2.10.2.1. Mesh Yönlendirme Protokolü (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. MPR 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. Düşüm hızlıca internete veri göndermeye başlar. Düşümün internette bir routera sahip olması half-connected durumu olarak adlandırılır. Bir sonraki adım, katılan düşümleri ağ geçidi ile kaydetmek.



Şekil 2.5: MRP Protokolündeki Mesajlar Dizisi (Jun ve Sichitiu, 2008)

#### 2.10.2.2. Isı Kullanarak Ölçeklenebilir Yönlendirme Protokolü

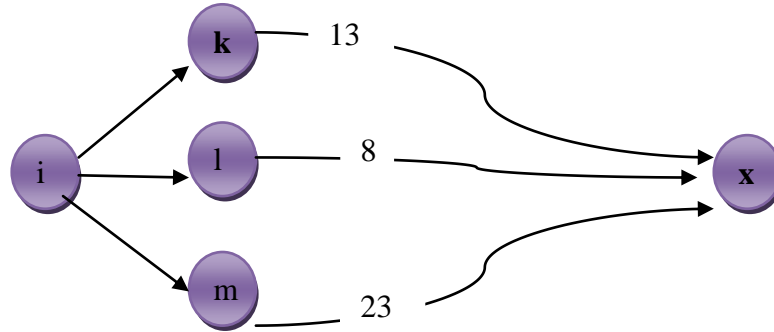
Temel olarak ölçeklenebilirlik ve sağlamlık sağlamaktadır. Ölçeklenebilirlik yerel mesajların alışverişi ile sağlanmakta; Sağlamlık ağdaki yollara sıcaklık değeri atayarak sağlanmaktadır. Bu yönlendirme protokolünde köprüler, ağ içinde sıcaklık geliştiren ısı kaynakları olarak inşa edilmiştir. Sıcaklığı yüksek olan bir düşüm access point'e yakın demektir ve paketleri gönderme işlemini gerçekleştirir. Bütün düşümler kendi ve komşularının sıcaklığını ölçerler. Ağda herhangi bir değişiklik olduğunda sıcaklık tekrar hesaplanır.

#### 2.10.2.3. Hedef Sirali Uzaklık Vektörü Yönlendirme Algoritması (DSDV)

DSDV, proaktif yönlendirme algoritmasıdır. Klasik bir uzaklık vektörü algoritması olan Dağıtık Bellman-Ford (DBF) algoritmasından doğmuştur. Dağıtık Bellman-Ford algoritmasındaki döngü problemini gidermeye yönelik iyileştirmeler yapılmıştır. Her düşüm, ağdaki diğer düşümler için bir yol bulunan tablo tutar. Tablonun her satırında hedef düşümün adresi, sonraki düşümün adresi, uzaklık ve sıra numarası kayıtlıdır. Sıra numarası o yolun güncelliğini gösterir. Bir düşüm topolojide anlamlı bir değişiklik fark ettiği zaman kendi tablosunu diğer düşümlere gönderir. Topolojideki değişiklik büyük

ise bütün tablo gönderilir, değilse sadece değişikliğin olduğu parça gönderilir. Bir düğüme giden yol ile ilgili bir değişiklik olduğu zaman bu durum komşu düğümlere daha yüksek bir sıra numarası ile bildirilir. Bu değişikliği alan her düğüm, yönlendirme tablosunu günceller ve değişikliği kendi komşularına bildirir. Bu işlemle bütün ağ bu değişiklikten haberdar olur (Murthy ve Manoj, 1994) (Perkins ve Bhagwat, 2004).

DSDV' de her bir düğüm bütün ağ için kendi yönlendirme tablosunu muhafaza eder. Her bir düğüm, kendi yönlendirme tablosunu muhafaza etmek için gerekli bilgilere sahip olması gerekmektedir. Şöyle ki; her bir düğüm, grafik olarak tüm ağı bilir. Bilgiler, düğümlerin listesi, düğümler arasındaki sıralar ve her bir sıranın maliyetidir. Sıra maliyetleri, uzaklık, veri hızı, fiyat, tıkanıklık veya gecikmeyi içerir. Aralarında başka düğüm olmayan iki düğümün sıra maliyeti 1'dir. Her bir düğüm, kendi yönlendirme tablosunu Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi Bellman-Ford algoritması sayesinde elde eder. Her bir düğüm (i), her bir hedefde (x), her bir komşu için (j), uzaklık ( $d_{ij}(x)$ ) belirler. Eğer  $d_{ik}(x)$ , bütün  $d_{ij}(x)$ lerin minimumu ise, i düğümü, x düğümüne mesajı göndermek için bir sonraki zıplamada k komşuna yönelir.



Şekil 2.6: Bellman-Ford Algoritması Örneği

Örneğin, i düğümünden, x düğümüne mesaj gönderilecekse yol maliyeti en düşük olduğundan l düğümü üzerinden gönderilir.

#### DSDV Protokolü'nün özellikleri

DSDV teorik olarak şu özelliklere sahiptir:

- Hiçbir an döngü oluşumu olmadan yönlendirme
- Dinamik, çok sekmeli, kendi kendine başlayan nitelikte
- Düşük bellek ihtiyacı

- Tetiklenmiş güncellemeler vasıtasıyla hızlı yakınsama
- Tüm hedefler için elverişli rotalar
- Hızlı işlem süresi
- Makul ağ yükü
- Minimum rota değişimi

Güçlü Noktalar:

DSDV'nin temel avantajlarından biri, tüm düğümlerde döngüsüz rotalar sağlar ve bellek ihtiyacı orta düzeylidir  $O(n)$ .

Zayıf Noktalar:

DSDV bazı dezavantajlara sahiptir. Belli bir hedef için maksimum stabilizasyon süresi gibi parametreler için optimal değerleri tespit etmek güçtür. Bu durum, rotada dalgalanmalara sahte rota ilanlarına yol açabilir ve buna bağlı olarak band genişliği gereksiz yere meşgul edilebilir. DSDV ayrıca ekstra iletişim yüküne sebep olabilecek periyodik ve tetiklemeli yönlendirme güncellemeleri kullanmaktadır. Ayrıca DSDV içerisinde bir düğüm, hedef için yönlendirme tablosu kaydını güncellemeden önce hedef tarafından oluşturulmuş sonraki rota güncellemesini alana kadar beklemek zorundadır. Bu hedef-merkezli senkronizasyon mekanizması gecikme problemi yaratmaktadır. Ayrıca DSDV çok-yollu yönlendirmeyi desteklemez.

*2.10.2.4. Optimize Edilmiş Link Durum Yönlendirme Protokolü (OLSR)*

Bu protokolda 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. Sadece mesajı daha önce görmeyen MPR mesajı tekrar yayar. Böylece taşıma yükü azaltılabilir. OLSR iki tür kontrol 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 hosttu TC mesajlarını iletebilir. Diğer proaktif protokoller üzerinde OLSR'nin en büyük avantajı yönlendirme tabloları yerine bağlantı durum bilgilerini yayınlardır.

### 2.10.3. Hibrit Yönlendirme Protokolleri

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 – HSLS) bir hibrit yönlendirme protokolüdür.

#### 2.10.3.1. Belirsiz Görülen Link Durum Yönlendirme Protokolü (HSLS)

Mesh ağlar için en verimli yönlendirme protokolüdür. CUWIN vakfı tarafından geliştirilmiştir. Proaktif, reaktif ve suboptimal yönlendirme yaklaşımı özelliğine dayanmaktadır. 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.

### 2.10.4. Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması

Mesh ağlarda; yönlendirme protokollerini tasarlarken minimum artıklık ve güç ile bağlantı kurmak ve bu bağlantıyı sürdürmek gerekir. Tablo 2.2 'de yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması bulunmaktadır.

	Type of Protocol	Hello msg	Multicasting	Routing metrics	Loop free	Scalability	Reliability	Load balancing
LQSR	Reactive	YES	YES	Hop count, ETX	YES	NO	YES	YES
SRCRR	Reactive	NO	NO	ETX, Hop count, Shortest path	YES	NO	YES	YES
DSDV	Proactive	NO	NO	Shortest path	YES	NO	YES	NO
OLSR	Proactive	YES	NO	Shortest path	YES	NO	YES	NO
MPR	Proactive	NO	YES	Hop count, QoS Metrics	YES	YES	YES	YES
Scalability Routing	Proactive	NO	YES	Hop count	YES	YES	YES	NO
HSLS	Hybrid	YES	YES	Hop count, ETX	YES	YES	YES	YES

Tablo 2.2: Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması



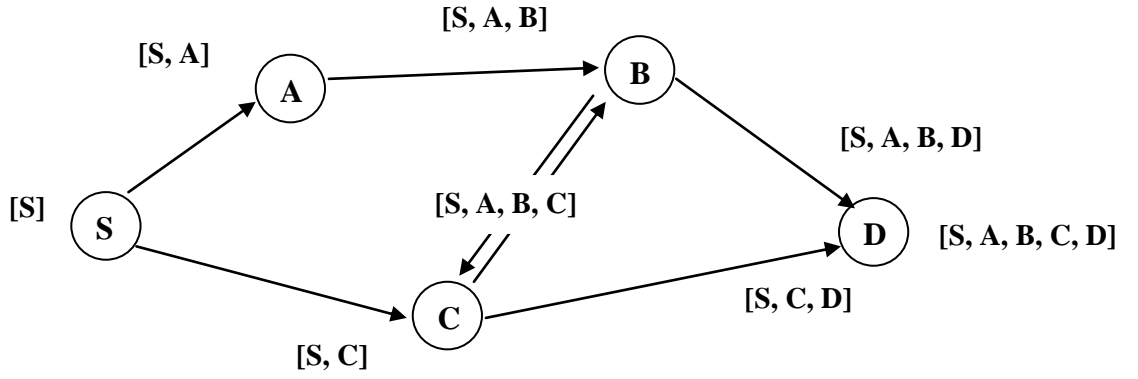
### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1. DİNAMİK KAYNAK YÖNLENDİRME ALGORİTMASI (DSR)**

Dinamik kaynak yönlendirme tabanlı olan bu algoritmada kaynak düğümünden hedefe bir paket gönderilmek istendiğinde bu paketin başlık kısmında yönlendirme tablosunun tamamı kaynaktan hedefe doğru taşınır. Bu yönlendirme tablosunda, kaynaktan hedefe gitmek için kullanılan bütün ara düğümlerin adresleri, ayrıca bu düğümlerin birbiri arasındaki komşulukları, kimin hangisine ne paketi gönderdiği gibi her bir düğüme ait ayrıntılı yönlendirme bilgileri yer alır. Bu yüzden bir paket yollanmak istendiğinde kaynak düğümünün hangi yollardan geçeceği başlı başına bir problem oluşturur. DSR yönlendirme algoritması 2 kısımdan oluşur: Yönlendirme Keşfi (routing discovery), Yönlendirme Yönetimi (routing maintaince).

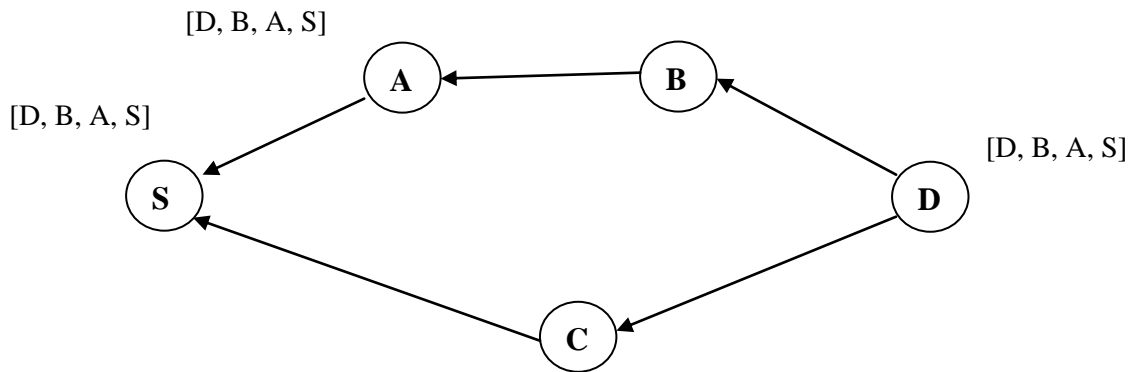
Yönlendirme keşfi kaynaktan hedefe gidilecek yolu hesaplar. Yönlendirme yönetimi ise kaynaktan gönderilen paket hedefe ulaşmadığı takdirde keşfin hesapladığı yolu kontrol etme mekanizmasına sahiptir. Paketin ulaşmaması ya hesaplanan yoldaki bir düğümün kullanılamaz hale gelmesi ya da o düğümün mobil olması nedenine dayanır. Yönlendirme yönetimi yönlendirme keşfin hesapladığı yolun kullanılamaz olduğunu saptadığında yönlendirme keşfi tekrar yeni bir yol hesaplamasını çalıştırır. Bu saptama işlemi için point-to-point ve end-to-end doğrulama işlemleri uygulanır.

Point-to-point doğrulama dinamik bir doğrulama biçimidir. Düğümler arasında bir iletişim kopukluğu olduğu sırada bu kopukluğun başladığı düğümünden kaynak düğüme kadar olan düğümlere RERR (request error) paketi yollanır. Bu paketi alan her düğüm yönlendirme tablosundan kendi adresini siler. End-to end doğrulama ise yönlendirme yolundan paket geçtikten sonra devreye girer. Bu doğrulama arada iletişim kopukluğu olduğunu anlar; ama adım adım bütün düğümleri kontrol etmediği için hangi düğümde iletişim bozukluğu olduğunu belirleyemez.

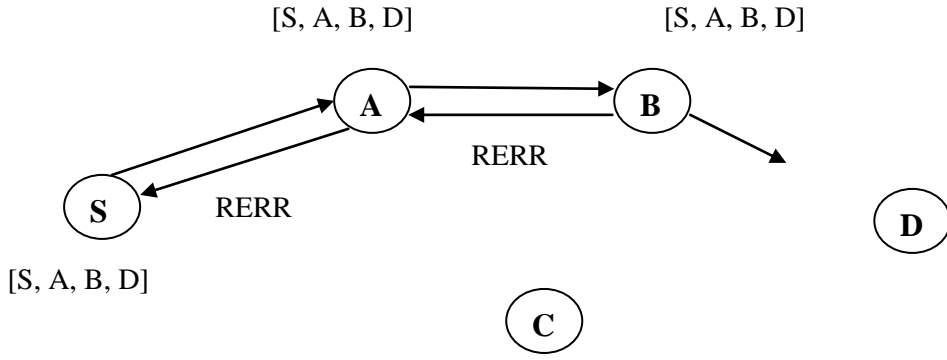


Şekil 3.1: Yön İstek Mesajı (RREQ)

İlk olarak, kaynak düğüm yol bilgisini öğrenmek amacıyla, kaynaktan hedefi adresleyen bir broadcast yön istek (RREQ) mesajın  $[D, B, A, S]$  REQ mesajları ağda yayılırken, üzerinden geçilen düğümler tarafından bu mesaja geçilen düğümlerin adres bilgileri sürekli eklenir. Böylece kaynaktan hedefe bir yol belirlenmiş olur. Yön bilgilerini öğrenen hedef düğüm böylece kaynak düğüme haberleşme için uygun olarak belirlenen yoldan yön cevap (RREP) mesajlarını yollar. Hedef düğüm kaynak düğüme RREP mesajlarını alternatif yollardan yolladığı için kaynak düğüm bu mesajların içindeki sekme sayısı veya gecikme gibi yönlendirme parametrelerine göre verilerin göndereceği en uygun yolu seçerek iletilecek veriyi bu yoldan hedefe yollar. Haberleşme esnasında yol üzerinde ki değişim ve bağlantı kopmaları ara düğümlerin ürettiği yön hata (RERR) mesajları ile kaynak düğüme bildirilir. Hata mesajını alan kaynak düğüm, başka alternatif bir yolu varsa paketleri buradan gönderir. Eğer yoksa da tekrar yeni yol bulmak için yönlendirme keşfi prosedürü çalıştırılır.



Şekil 3.2: Yön Cevap Mesajı (RREP)



Şekil 3.3: Yön Hata Mesajı (RERR)

#### Güçlü Yönler:

- DSR, temel olarak kaynak yönlendirme konseptini kullanmaktadır. Ara düğümlerin, ileri gönderdikleri paketleri yönlendirmek için güncel yönlendirme bilgilerini tutmaları gerekli olmamaktadır. Ayrıca, özellikle çok az veya hiçbir ciddi düğüm hareketinin meydana gelmediği dönemlerde ağ band genişliğinde azalmaya ve protokol yükünün artmasına yol açacak periyodik rutin ilan mesajlarına da ihtiyaç olmamaktadır. İlan mesajlarını gönderme ve alma zorunluluğu olmadığından mobil düğümlerde pil enerjisi korunur ve düğümler iletim yerine uyku durumuna girer.
- Protokol, alınan paketlerdeki bilgileri taramak suretiyle yolları öğrenme avantajına sahiptir. A'dan C'ye B üzerinden giden bir yol A'nın C'ye giden yolu öğrenmesi ve ayrıca B'ye giden yolu da öğrenecek olması anlamına gelecektir. Bu tip aktif öğrenme çok idealdir ve ağ içerisindeki protokol yükünü azaltır.
- Herhangi bir bağlantı simetrisinin kabulü gerekli değildir.
- Yön bilgilerinin her düğüm tarafından öğrenilmesine gerek yoktur.
- Paketlerin gideceği yol önceden belirlendiği için aradaki düğümlerin iş yükü hafiftir.
- Ara düğümlerin yönlendirme tablosu tutmasına gerek yoktur.
- Durum esaslı veya uzaklık vektörü esaslı protokollere göre değişimlere daha hızlı cevap verme imkânı.

### Zayıf Yönler:

DSR ölçeklenebilirlik problemleri yaşayabilir. Ağ büyüdükçe, yoldaki her düğüm için adres bilgileri taşınmaları gerektiğinden kontrol paketleri ve mesaj paketleri de aynı şekilde büyür.

- Arayüzleri her paketi kabul etme konumunda çalıştırma ciddi bir güvenlik sorunudur; çünkü arayüzün adres filtrelemesi kapatılır ve tüm paketler içerisindeki bilgiler taranır. Potansiyel bir davetsiz misafir tüm paketleri dinleyebilir ve bunların içlerinden şifreler ve kredi kartı numaraları gibi kullanışlı bilgileri tarayabilir. Uygulamalar, iletim öncesinde veri paketlerini şifrelemek suretiyle güvenlik sağlamalıdır. Yönlendirme protokolleri sistemdeki davetsiz misafirlerin temel hedefleridir ve bu yüzden bu protokoller de şifrelenmelidir.
- DSR her paketi kabul etme modunda çalıştığından yüksek pil enerjisi sarfeder.
- Paketlerin yolu önceden hesaplanması gerektiği için tüm düğümlere bu yolun öğretilmesi gerekir. Dolayısıyla haberleşmeye geç başlanılır.
- Broadcast mesajları bütün ağa yayıldığı için ve çok fazla olduğu için ağdaki paketlerle çarpışma riski oluşur. Böylece paket kayıplarına neden olur.

### **3.2. TASARSIZ TALEP ESASLI UZAKLIK VEKTÖRÜ YÖNLENDİRME ALGORİTMASI (AODV)**

Tasarsız Talep Esaslı Uzaklık Vektörü (AODV) yönlendirme algoritması, talep esaslı bir algoritmadır, yani sadece kaynak düğümler tarafından ihtiyaç duyulması durumunda düğümler arasında rotalar inşa eder ve bu rotalar sadece gerekli oldukları müddetçe tutulur. AODV’de, kopuk bağlantıları onarırken bile hiçbir zaman döngü oluşumu söz konusu değildir. Komşu topolojide bir değişim hakkında bilgi sahibi olduğu her an sıralı olarak artan bir sıra numarası söz konusudur. Bu sıra numarası, her yol araması yapıldığında en güncel yolun seçilmesini sağlar. AODV teke gönderimli, çoğa gönderimli ve geniş gönderimli haberleşme yeteneğine sahiptir. Ayrıca AODV, çok gönderimli grup üyelerini birbirine bağlayan ağaçlar oluşturur. Bu ağaçlar grup üyelerinden ve üyeleri birbirine bağlamak için gerekli olan düğümlerden meydana gelmektedir. Son olarak temel algoritmaya yapılan düzenli iyileştirmelerin (mesela QoS uygulamaları için, istemci-sunucu aramaları için veya asimetrik yönlendirme yollarının

kullanımı için) hem tekli hem de çoğa gönderim tabanlı veri iletimine fayda sağlaması beklenmektedir.

AODV hâlihazırda komşu düğümler arasında sadece simetrik bağlantılar kullanmaktadır. İlgili yönlendirme bilgilerini kaydetmek için hem teke gönderim hem de çoğa gönderim yönlendirme tabloları kullanılır. Bu tablolar, sabit hareket halindeki düğümler için bile hem teke gönderim hem de çoğa gönderim rotalarını tutabilir. Ayrıca özel bir rota hata mesajı kullanımı vasıtasıyla geçersiz rotaların çabuk şekilde silinmesine olanak verir. AODV, çabuk ve zamanlı bir şekilde aktif rotaları etkileyen topolojik değişikliklere cevap verir. Rotaları, yönlendirme kontrol mesajlarından doğan sadece ufak miktarda bir protokol yükü ile ve herhangi ekstra bir ağ protokol yükü olmadan inşa eder. Sonuç olarak AODV veri paketleri üzerine herhangi ekstra bir protokol yükü yüklemeyi çünkü kaynak yönlendirmesi kullanmaz.

DSR algoritmasındaki yönlendirme keşfi ve yönlendirme yönetimi işlemlerinin aynısını kullanır. DSR algoritmasından farkı yoldaki bütün düğümlerin bu mekanizmalara sahip olmasıdır. Böylece bütün düğümlere ait yönlendirme tablosu bütün yol boyunca taşınmasına gerek yoktur. Yönlendirme keşfi bu protokolde 2 ye ayrılmıştır: İleri yol tespiti, Geri yol tespiti.

Geri yol tespitinde, kaynak düğüm ilk önce RREQ (Route Request) mesajını yayımlar. Bu mesajı alan hedef düğüm de RREP(Route Reply) paketini kaynak düğüme yollar. RREP paketinin geçtiği yol geri yol adını alır. Böylece kaynak ve hedef arasında bağlantı kurulur ve sonraki paketler bu bağlantı yolundan geçerek kaynaktan hedefe ulaşır. Bu bağlantı yolluna da ileri yol denir.

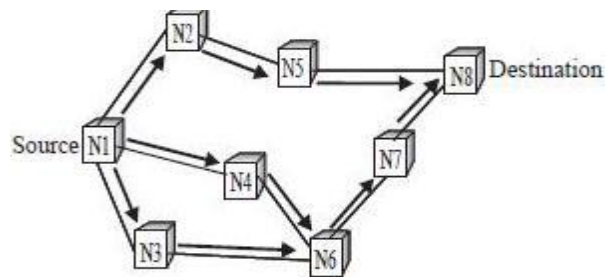
Hedef düğümün yerini tespit edebilmek için kaynak düğümü bir RREQ paketi broadcast eder. Her düğüme gelen broadcast paketlerindeki (Source address + Request ID) bilgisi bir lokal geçmiş tablosunda ( local history table ) tutulmaktadır. Dolayısıyla alınan paketteki “Source address + Request ID” bilgisi tablodaki değerler ile karşılaştırılır. Eğer aynı paket daha önceden alınmış ise paket imha edilir. Eğer alınan paket ilk kez alınıyor ise bir sonraki karşılaştırmalar için lokal geçmiş tablosuna kaydedilir ve bir sonraki adıma geçilir.

Alıcı düğüm, kendi yönlendirme tablosunda hedef düğüm için belirli bir bilgi olup olmadığına bakar. Eğer hedef düğüm ile ilgili bir bilgi söz konusu ise kaynak düğüme bir RREP mesajı gönderilir. Eğer alıcı düğüm, hedef düğüm ile ilgili olarak bir bilgiye sahip değilse paketteki sıçrayış sayısı (hop count) alanını bir artırır ve paketi yayımlar.

### RREQ Paketinin Yapısı

ROUTE REQUEST paketi kaynak (source) ve hedef (destination) bilgisayarlar ile ilgili adres değerlerini IP değeri olarak tutmaktadır. Ayrıca bir RequestID değeri bulundurmaktadır. Request ID değeri her düğüm tarafından paket yayımlanırken belirlenen ve her düğümden geçerken bir arttırılan bir değerdir. Kaynak adres ve Request ID değeri birlikte benzersiz bir değer oluşturur ve bu aynı broadcast alanında bilgisayarların aynı paketleri birbirine sürekli göndermesini engeller.

Request ID değeri gibi her düğüm her yayım paketinin gönderilmesi sırasında bir arttırılan bir değer daha tutar. Bu değer bir saat görevi görür ve eski paketlerin yeni paketlerden ayırt edilmesini sağlar ( Sıra Numaraları - Sequence Numbers). “Source sequence number” kaynağın sıra numarasını, kaynağın bildiği hedefin sıra numarasını ise “destination sequence number” tutmaktadır. Son alan olan sıçrayış sayısı ise (hop count), ilk başta sıfır olarak belirlenen ve her düğüm geçildiğinde bir arttırılan bir değerdir. Bu değer sayesinde hedefe kaç sıçrayışta gittiği tespit edilebilmektedir.

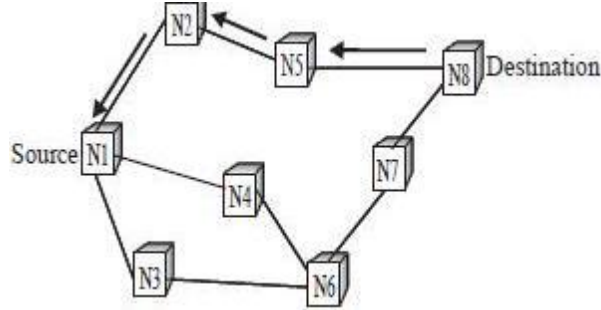


Şekil 3.4: RREQ paketlerini yayma (Royer ve Toh, 2011)

### RREP Paketinin Yapısı

ROUTE REPLY paketinin yapısında source address, destination address ve Hop count değerleri, ROUTE REQUEST paketinden elde edilen bilgilerle doldurulmaktadır. “Destination Sequence Number” ise hedef düğümdeki sayaç hafızası bölümünden elde

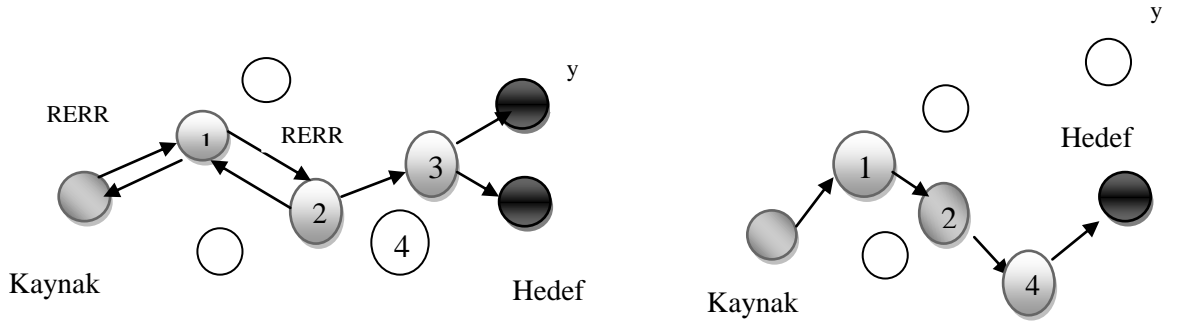
edilerek doldurulur. HopCount değeri tekrardan sıfırlanır. Hop count“ un eski değeri Lifetime süresini belirler.



Şekil 3.5: Bir RREP paketinin kaynağa gönderilmesi (Royer ve Toh, 2011)

### 3.2.1. Yolum Tutulması

Belirli bir kaynak/hedef çifti için bir yol bulunduğunda bu yol, kaynak düğüm tarafından ihtiyaç duyulduğu müddetçe tutulur. Kablosuz mesh ağ içerisinde düğümlerin hareketi sadece bu düğümleri içeren yolları etkiler, bu yol aktif yol olarak isimlendirilir. Aktif bir yol boyunca söz konusu olmayan hareket herhangi bir protokol işlemini tetiklemez. Eğer kaynak düğüm aktif bir oturum esnasında hareket ederse, hedefe yeni yol tespit etmek amacıyla yol arama işlemini yeniden başlatabilir. Hedef düğüm veya herhangi ara bir düğüm hareket ederse etkilenen kaynak düğüme bir RERR mesajı gönderilir. Bu RERR, kesintinin yukarı yönündeki düğüm tarafından tetiklenir (yani kaynak düğümlere yakın olan). Bu mesaj, bağlantı kaybından ötürü o an itibariyle erişilemeyen durumdaki her hedefi listeler. Eğer kesintinin yukarı yönündeki düğüm, bağlantı kaybından ötürü bir veya daha fazla erişilemeyen düğüme sahipse veya hedef için öncü düğüm olarak listelenmiş bir veya birden fazla düğüme sahipse (bir veya daha fazla düğüm yani hedefe ulaşmak için bu öncü düğüm üzerinden geçiyor), RERR mesajını bu komşu düğümlere yayınlar. Komşular RERR mesajını aldığıında, hedefe olan mesafeyi sonsuz yapmak suretiyle hedefe olan yollarını geçersiz olarak işaretler ve sırasıyla RERR mesajını öncü düğümlerine yayar. Kaynak düğüm RERR mesajını aldığıında, yola halen ihtiyaç varsa yol arama prosedürünü yeniden başlatabilir.



Şekil 3.6: Rotanın Tutulması

Şekil 3.6, yol tutma prosedürünü göstermektedir. Şekil 3.6'da kaynaktan hedefe giden orijinal yol 1, 2 ve 3 no'lu düğümler üzerinden geçmektedir. Düğüm 3 daha sonra 3 konumuna hareket ederek düğüm 2 ile aradaki irtibatı kesintiye uğratar. Düğüm 2 bu kesintiye algılar ve düğüm 1'e RERR mesajı gönderir. Düğüm 1 bu rotayı geçersiz olarak işaretler ve RERR'yi kaynağa yönlendirir. Kaynak düğüm RERR'yi aldığı anda halen rotaya ihtiyacı olup olmadığını tespit eder ve gerekiyorsa rota arama prosedürünü yeniden başlatır. Şekil 3.6'da ikinci şekilde düğüm 4 aracılığıyla bulunmuş olan yeni rotayı göstermektedir.

### 3.2.2. Yerel Bağlantısallık Yönetimi

Komşu bilgileri, komşu düğümler tarafından gönderilen paket yayınlarından elde edilir. Bir düğüm komşu bir düğümden veri yayını aldığı anda yerel bağlantısallık bilgisini güncelleyerek bu komşu düğümü kapsamına alır. Eğer tablo içerisinde hâlihazırda bu komşu için herhangi bir kayıt yoksa düğüm bu kaydı oluşturur. Eğer bir düğüm aşağı yönündeki aktif komşularının tümüne hello süre aralığında herhangi bir paket göndermezse komşularına, kimliğini ve mevcut sıra numarasını içeren bir Hello mesajı (talep edilmemiş özel bir RREP) yayınlar. Bu mesaj, değeri 1 olan bir TTL içerdiğinden düğümün komşuları dışına yeniden yayınlanamaz. Çeşitli hello mesajlarının periyodik iletimi tarafından tanımlanan süre içerisinde bir komşudan herhangi bir iletim alınamaması, yerel bağlantısallığın değiştiğine ve bu komşu için rota bilgilerinin güncellenmesi gerektiğine işaret eder.



### 3.2.3. Paket Yayımları

AODV, paket yayımlarının iletim davranışını belirler. Bir düğüm paket yayını üretmek istediğinde yayın paketini bilinen yayın adresi olan 255.255.255.255'ye gönderir. Düğüm 255.255.255.255 adresine gönderilmiş bir paket yayını aldığı anda kaynak IP adresini, IP boşluk değerini ve paketin IP başlığının parçacık etkisini düğümler. Daha sonra paketin alınıp alınmadığını ve buna bağlı olarak yeniden iletilip iletilmediğini tespit etmek üzere yayın listesi kayıtlarını kontrol eder. Eğer karşılık gelen böyle bir kayıt yoksa düğüm ilgili yayın paketini işler ve yeniden iletir. Aksi durumda sessizce paketi reddeder.

### 3.2.4. Güvenlik

AODV herhangi özel bir güvenlik tedbiri öngörmemektedir. Fakat yönlendirme protokolleri, başka biri adına yetkisiz sisteme girmeye çalışan kişilerin temel hedefidir. Bu girişimler içerisinde yanlış yönlendirme bilgisine sahip RREP'ler iletmek ve tekrarlı RREQ mesajı yayımlamak suretiyle servis kullanımını engelleme girişimleri yer almaktadır. Ayrıca kablosuz iletim doğası gereği güvenli değildir. Veri paketleri, iletim kapsamında yer alan herhangi bir kişi tarafından alınabilmekte ve bu veriler şifreli değilse aynı zamanda başkası tarafından da okunabilmektedir. Bu saldırılara karşı korunmak için kopyalanamayan ve kuvvetli şekilde şifrelenmiş mesajlar veya dijital imzalar kullanılabilir. Güvenlik konusunun önem kazandığı ortamlarda, AODV kullanan ağın üyelerine anahtar dağıtmak amacıyla gerekli anahtar yönetimi kapsamında IPSec kimlik denetim üstbilgilerinin yaygınlaştırılması beklenmektedir.

### 3.2.5. Kuvvetli ve Zayıf Yönler

- **Kuvvetli Yönler:** Band genişliğini etkin şekilde kullanır (kontrol ve veri trafiği için ağ yükünü asgariye indirerek), topoloji içerisindeki değişimlere karşı esnek, ölçeklenebilir ve yönlendirmede döngü olmamasını sağlar. AODV özellikle çoğa gönderimli (multicast) yol desteği itibarıyla üstündür. AODV şu ana kadar, hem tekli hem de çoğa gönderimli yolları arayabilen tek protokoldür. Tüm diğer mevcut protokoller ya tekli ya da çoğa gönderimli yol arama özelliğine sahip olmakta, her ikisini aynı anda sağlayamamaktadır.

- **Zayıf Yönler:** Ara düğümlerde daha fazla çarpışma ve daha uzun kuyruk uzunluklarına sebep olan uzun paketlerin sırasıyla RREQ ve RREP mesajlarını geciktirdiğini ve yol bulma gecikmesini arttırmaktadır.

PARAMETRELER	DSR	AODV
Döngü yok	Evet	Evet
Çoklu rotalar	Evet	Hayır
Dağıtk	Evet	Evet
Tepkisel	Evet	Evet
Tek yönlü bağlantı desteği	Evet	Hayır
QoS Desteği	Hayır	Hayır
Çoğa gönderim	Hayır	Evet
Güvenlik	Hayır	Hayır
Güç Tasarrufu	Hayır	Hayır
Periyodik Yayın	Hayır	Evet
Güvenilir veya sıralı veri gerektirir.	Hayır	Hayır

Tablo 3.1: DSR ile AODV Protokolleri Arasında Karmaşıklık Kıyaslaması

### 3.3. PERFORMANS KIYASLAMASINDA KULLANILAN SİMÜLASYON ORTAMI VE PARAMETRELER

Bu bölümde DSR ve AODV yönlendirme algoritmalarının performans değerlendirmesi için yapılan simülasyon çalışmaları ve bu çalışmaların uygulanmasında kullanılan parametreler tanımlanacaktır.

Simülasyon çalışmaları MATLAB 7.11.0 (R2010b) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma, ilk olarak sabit düğümlü ağda değişen paket sayısı, düğüm kapsama alanı ve düğüm kuyruk boyutunu dikkate alarak gerçekleştirilecek. İkinci karşılaştırma sabit paket sayısında değişen düğüm sayısı, kapsama alanı ve düğüm kuyruk boyutu dikkate alarak gerçekleştirilecek. İlk karşılaştırma için kullanılacak olan parametreler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Düğüm Sayısı	Kuyruk Boyutu	Kapsama Alanı	Gönderilecek Paket Sayısı
60	2	5	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
		15	
		25	
60	4	5	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
		15	
		25	
60	6	5	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
		15	
		25	

Tablo 3.2. : Simülasyon Parametreleri - 1

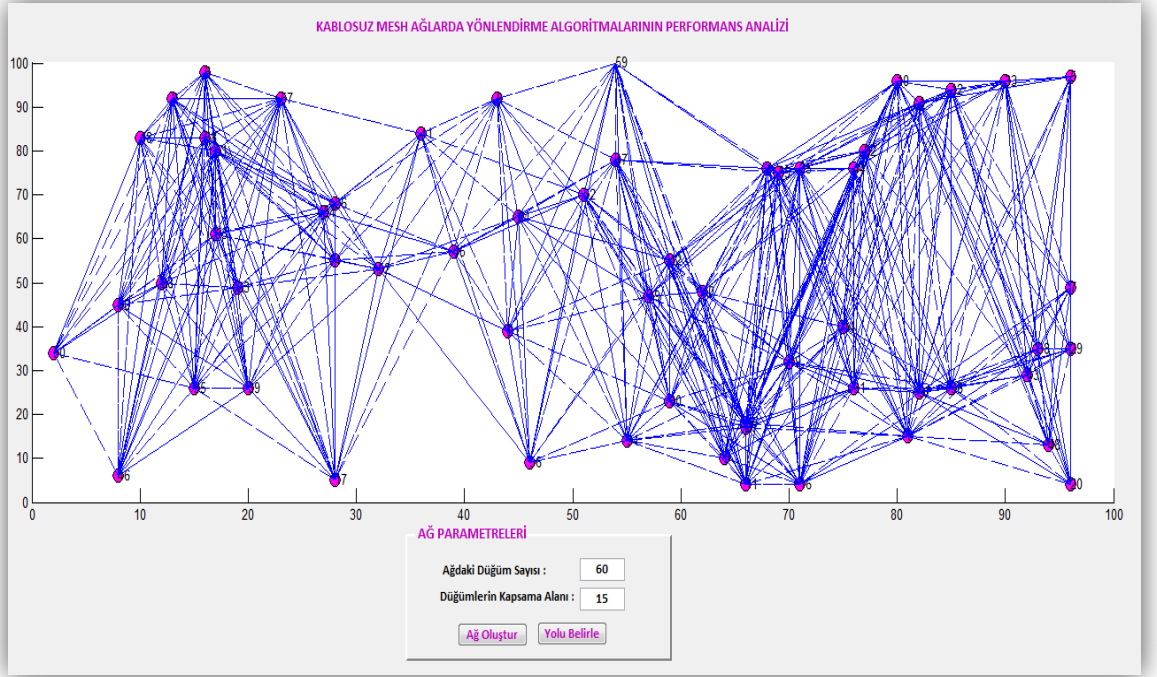
İkinci karşılaştırma için kullanılmak üzere parametreler Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Düğüm Sayısı	Kuyruk Boyutu	Kapsama Alanı	Gönderilecek Paket Sayısı
25	4,6	5,15	75
50			
75			
100			
125			
150			
175			
200			

Tablo 3.3: Simülasyon Parametreleri - 2

Tablo 3.2. ve 3.3’de gösterilen değerler kullanılarak DSR ve AODV yönlendirme algoritmalarının toplam işlem zamanı, düşen paket sayısı ve paket iletme oranları karşılaştırılacaktır.

Yönlendirme algoritmalarının performans karşılaştırması için MATLAB’de oluşturulan arayüz Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Ağdaki düğüm sayısı ve düğümlerin kapsama alanı değerleri girildikten sonra *Ağ Oluştur* butonu ile mesh ağımızı oluşturuyoruz. Ağdaki düğümler rastgele yerleştiriliyor. Bu işlemden sonra *Yolu Belirle* butonu ile kaynak – hedef düğüm çiftlerini rastgele belirliyoruz. Daha sonra DSR ve AODV yönlendirme algoritmalarıyla en kısa yolu belirleyerek paketimizi belirlenmiş yollar üzerinden gönderiyoruz.



Şekil 3.7. : MATLAB’de Oluşturulan Arayüz

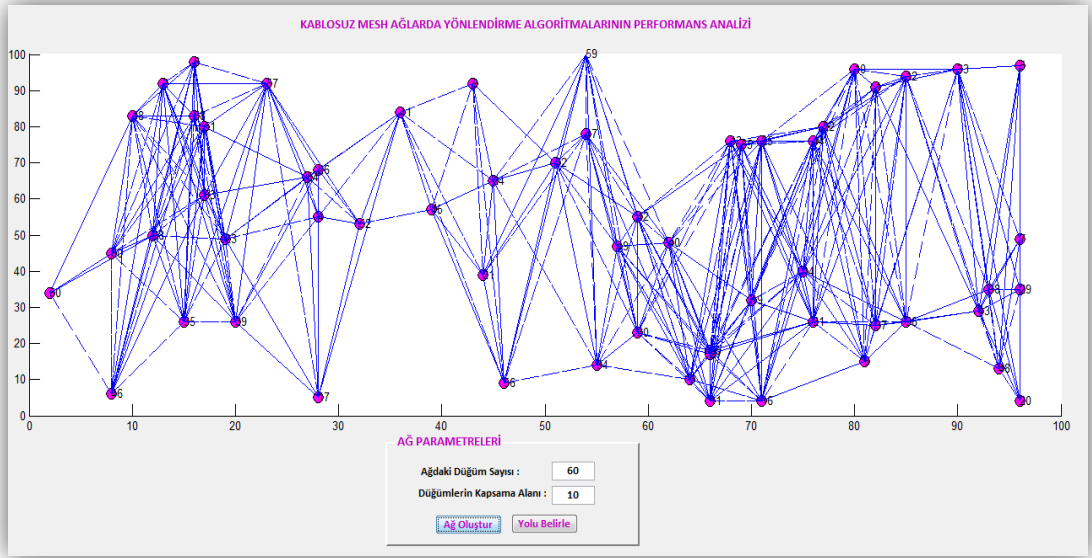
## 4. BULGULAR

Bu bölümde yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilmiş sonuçlar sunulacaktır. Simülasyon çalışmalarında ağdaki paket yoğunluğu ve düğüm sayısı arttığında yönlendirme algoritmalarının performanslarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu incelemenin gerçekleştirilmesi için 2 farklı senaryo oluşturulmuştur. İlk oluşturulan senaryo ortamında ağdaki paket yoğunluğuna bağlı performans değişikliği, ikinci oluşturulan senaryo ortamında ağdaki düğüm yoğunluğuna bağlı performans değişikliği incelenmiştir. Ayrıca her iki senaryo ortamında da düğüm kuyruk boyutunun ve düğüm kapsama alanının performans üzerine etkileri incelenmiştir. Düğümler kendilerine birden fazla paket geldiğinde paketleri zamanlarına göre düğüm kuyruğuna yerleştirir. Kuyruk FIFO mantığıyla çalışmaktadır. Kuyruğa ilk gelen paket ilk olarak gönderilmektedir. Düğüm kapsama alanı, düğümlerin ağ içerisinde hangi mesafeye kadar diğer düğümlerden haberdar olacağını belirler. Her iki senaryo ortamı 100 x 100 'lük alana düğümlerin rastgele yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Düğümler belirlenen alana rastgele yerleştirildikten sonra düğümlerin haberdar olduğu en yakın komşuları ile aralarındaki bağlantıyı göstermek için mavi çizgiler çizilir. Ağdaki paketlerin kaynak – hedef düğüm çiftleri de rastgele belirlenmektedir.

### 4.1. DEĞİŞEN PAKET SAYINA GÖRE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

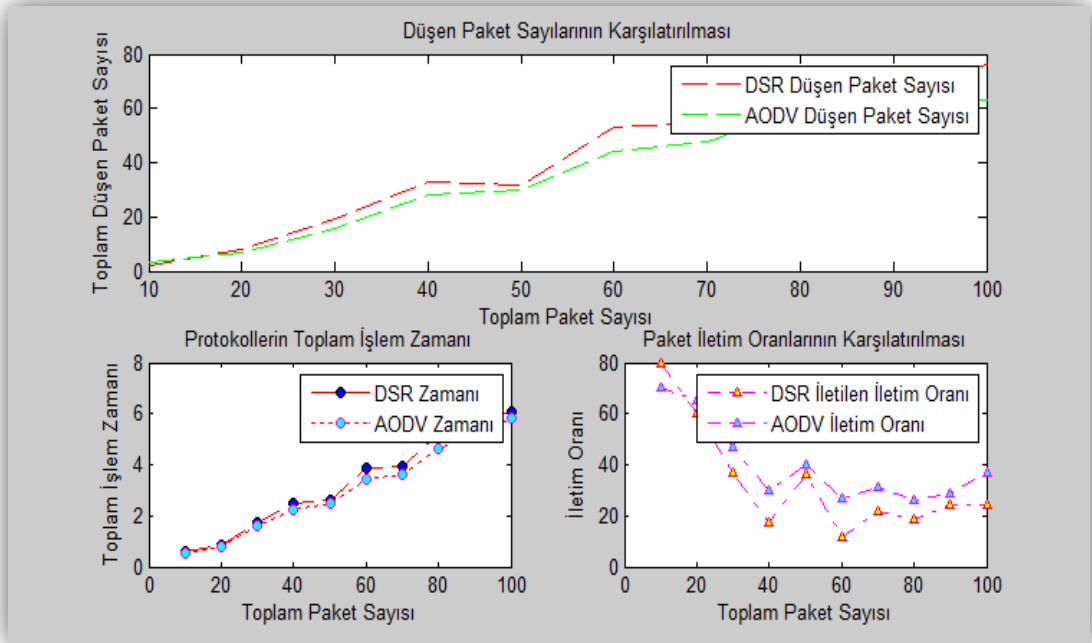
İlk oluşturulan senaryoda sabit düğümlü ağda değişen paket sayısı, düğüm kuyruk boyutu ve düğüm kapsama alanı ile yönlendirme algoritmalarının toplam işlem zamanı, düşen paket sayısı ve paket iletim oranları karşılaştırılmaktadır. Ağımızdaki düğüm sayısı sabit ve 60 olarak belirlenmiştir. Bu senaryo için ilk oluşturulan ağda bulunan düğümlerin kapsama alanı 10 olarak alınmıştır. Düğümlerin kuyruk boyutu sırayla 2,4 ve 6 olarak değişmektedir. Bu ağa ve diğer oluşturacağımız ağlara sırayla 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 paket gönderiliyor.

Ağdaki 60 düğüm, 10 kapsama alanı ile Şekil 4.1'deki gibi rastgele yerleştirilmiştir.



Şekil 4.1: 60 Düğüm, 10 Kapsama Alanı İle Oluşturulmuş Mesh Ağ

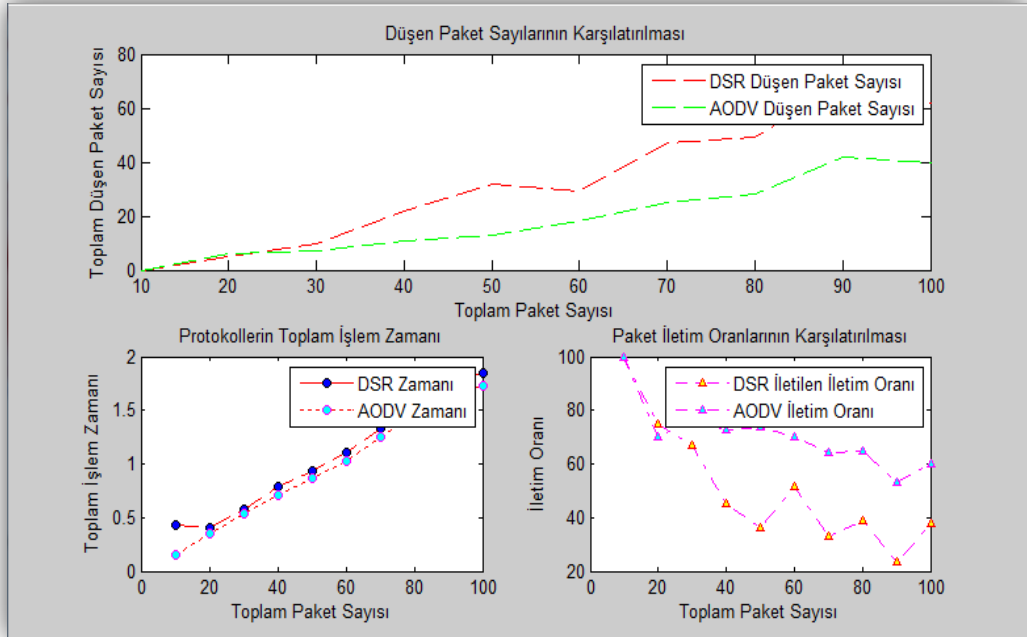
Yönlendirme algoritmalarının belirtilen parametreler ile performans karşılaştırma grafikleri Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'te gösterilmektedir. Elde edilen veriler Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 2

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	2	0,6090	80	3	0,5112	70
20	8	0,8370	60	7	0,8061	65
30	19	1,7164	36,60	16	1,5964	46,66
40	33	2,4682	17,50	28	2,2301	30
50	32	2,6190	36	30	2,4686	40
60	53	3,9038	11,66	44	3,4510	26,66
70	55	3,9249	21,42	48	3,6519	31,42
80	65	5,1839	18,75	59	4,6051	26,25
90	68	5,8264	24,44	64	5,1841	28,88
100	76	6,1085	24	63	5,8375	37

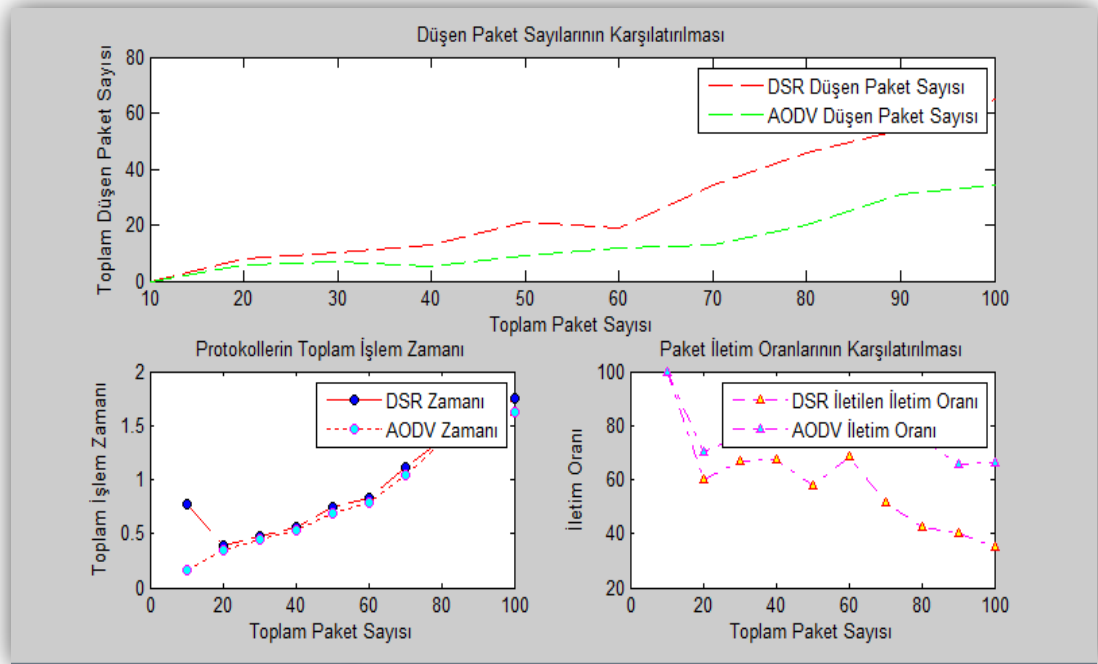
Tablo 4.1: Düşüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 2



Şekil 4.3: Düşüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 4

Algoritma	DSR			AODV		
Paket Sayısı	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,4339	100	0	0,1537	100
20	5	0,3991	75	6	0,5337	70
30	10	0,5757	66,60	7	0,5318	76,66
40	22	0,7927	45	11	0,7133	72,50
50	32	0,9274	36	13	0,8637	74
60	29	1,1032	51,66	18	1,0288	70
70	47	1,3257	32,85	25	1,2503	64,28
80	49	1,5148	38,75	28	1,4628	65
90	69	1,7682	23,33	42	1,6398	53,33
100	62	1,8442	38	40	1,7286	60

Tablo 4.2: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 4



Şekil 4.4: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 6

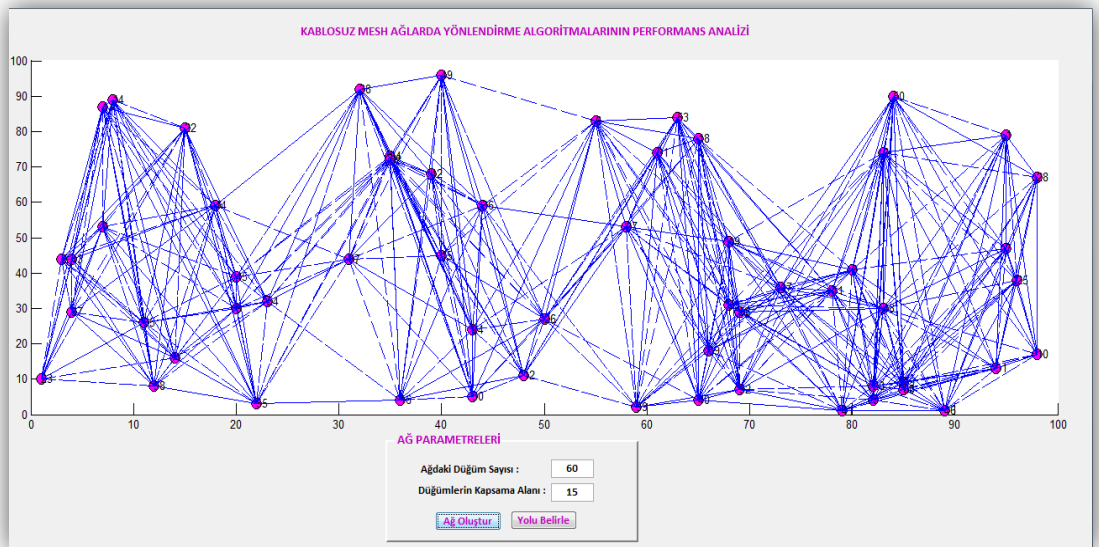


Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,7698	100	0	0,1648	100
20	8	0,3919	60	6	0,3514	70
30	10	0,4771	66,60	7	0,4460	76,66
40	13	0,5600	67,50	5	0,5334	87,50
50	21	0,7394	58	9	0,6865	82
60	19	0,8314	68,33	12	0,7913	80
70	34	1,1137	51,42	13	1,0372	81,42
80	46	1,3754	42,50	20	1,3385	75
90	54	1,5257	40	31	1,4134	65,55
100	65	1,7549	35	34	1,6237	66

Tablo 4.3: Düşüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 10 ve Kuyruk Boyutu: 6

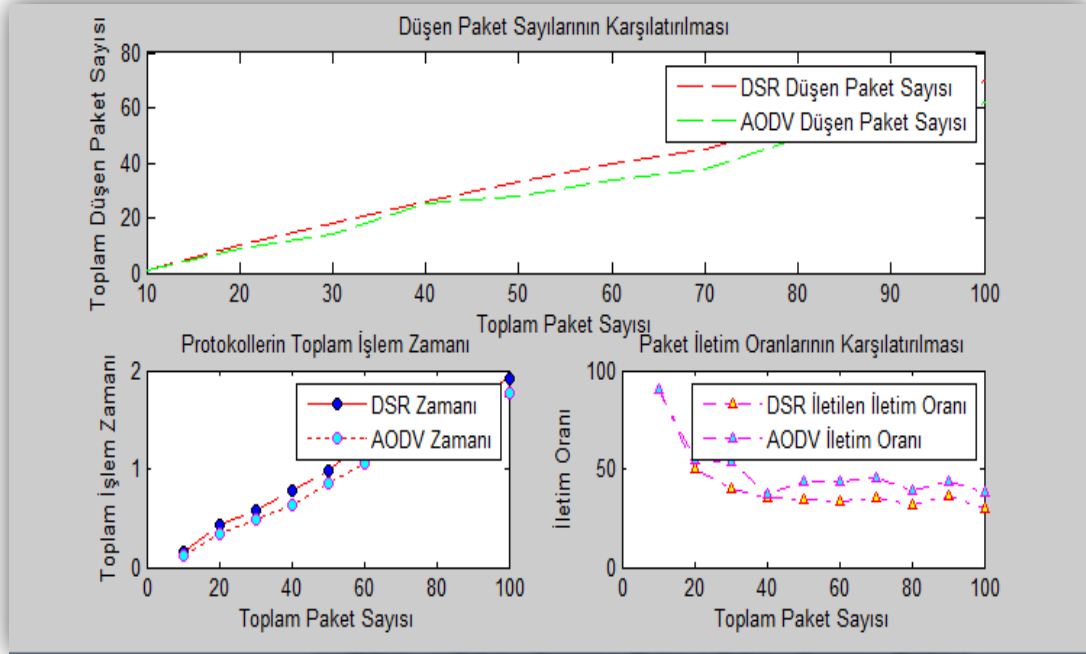
Yukarıda tanımlanan simülasyon çalışması sonucunda elde edilen grafiklerde ve tablolarda görüldüğü gibi ağdaki düşüm sayısı sabit ve paket sayısı arttığında her iki yönlendirme algoritmasının performansı düştüğü görülmüştür. Hedefe ulaşan paket sayısı düşmüştür. Genel olarak bakıldığında AODV, DSR'ye göre daha iyi performans göstermiştir. AODV yönlendirme algoritması daha kısa sürede kaynak ile hedef arasındaki yolu belirleyerek paketlerin gönderilmesini sağlamıştır. Ayrıca düşümlerin kuyruk boyutu arttıkça algoritmaların iletim oranları artmıştır.

Bir sonraki çalışmada kapsama alanı 15 olarak alınmıştır. Ağdaki 60 düşüm, 15 kapsama alanı ile Şekil 4.5'teki gibi rastgele yerleştirilmiştir.



Şekil 4.5: 60 Düşüm, 15 Kapsama Alanı İle Oluşturulmuş Mesh Ağ

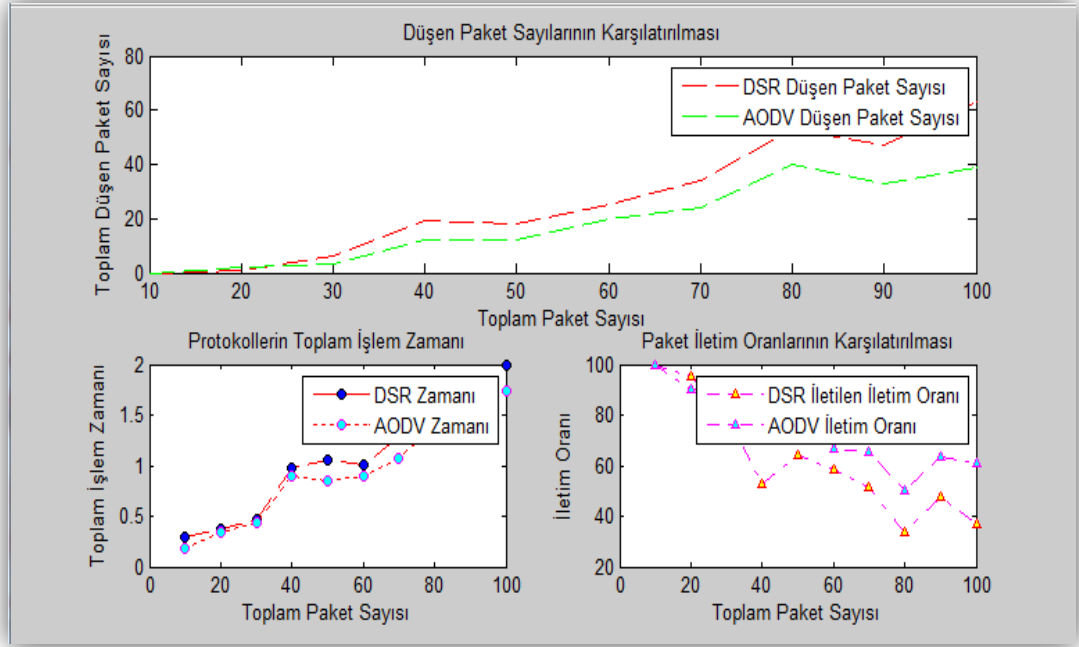
Yönlendirme algoritmalarının belirtilen parametreler ile performans karşılaştırma grafikleri Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de gösterilmektedir. Elde edilen veriler Tablo 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 2

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	1	0,1496	90	1	0,1236	90
20	10	0,4233	50	9	0,3410	55
30	18	0,5841	40	14	0,4899	53,33
40	26	0,7785	35	25	0,6384	37,5
50	33	0,9788	34	28	0,8616	44
60	40	1,3013	33,33	34	1,0596	43,33
70	45	1,3091	35,71	38	1,2047	45,71
80	55	1,6107	31,25	49	1,3667	38,75
90	57	1,7510	36,66	51	1,4109	43,33
100	70	1,9240	30	62	1,7642	38

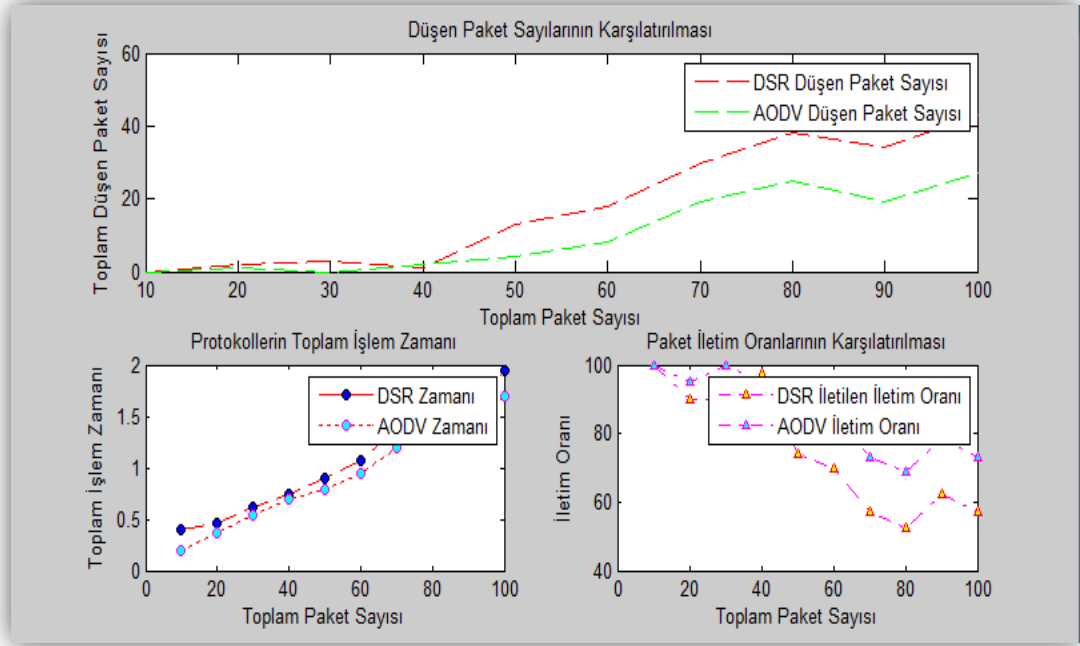
Tablo 4.4: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 2



Şekil 4.7: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 4

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,2926	100	0	0,1772	100
20	1	0,3775	95	2	0,3349	90
30	6	0,4735	80	3	0,4317	90
40	19	0,9777	52,5	12	0,9045	70
50	18	1,0545	64	12	0,8431	76
60	25	1,0155	58,33	20	0,8968	66,66
70	34	1,2710	51,42	24	1,0731	65,71
80	53	1,6290	33,75	40	1,3930	50
90	47	1,5694	47,77	33	1,3495	63,33
100	63	1,9994	37	39	1,7355	61

Tablo 4.5: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 4



Şekil 4.8: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6

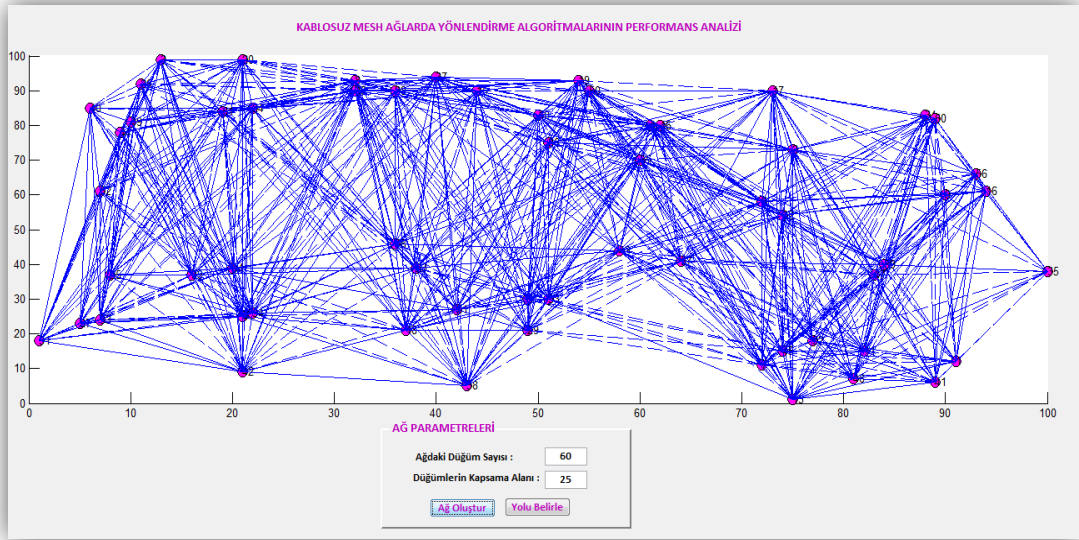
Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,4041	100	0	0,1941	100
20	2	0,4533	90	1	0,3709	95
30	3	0,6163	90	0	0,5405	100
40	1	0,7485	97,5	2	0,6888	95
50	13	0,8910	74	4	0,7897	92
60	18	1,0667	70	8	0,9379	86,66
70	30	1,3841	57,14	19	1,1990	72,85
80	38	1,5951	52,5	25	1,3511	68,75
90	34	1,5584	62,22	19	1,3440	78,88
100	43	1,9411	57	27	1,6883	73

Tablo 4.6: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6

Kapsama alanı 15 olarak alındığında; düğümlerin en yakın komşu sayıları artmıştır. Bu bilgilerin ağda daha hızlı ve kolay bir şekilde dağıtılmasına zemin hazırlamıştır. Ayrıca ağdaki değişikliklerden diğer düğümlerin daha kısa sürede haberdar olmasını sağlamıştır. Grafiklerdeki sonuçlara göre ağdaki paket sayısı arttıkça algoritmaların toplam işlem zamanı artmaktadır. Kuyruk boyutu 2 olduğunda paket iletim oranı beklendiği gibi daha düşük, 4 ve 6 olduğunda bu oranın arttığı görülmüştür. Hatta kuyruk boyutu 6 ve paket sayısı düşük olduğunda %100 iletim

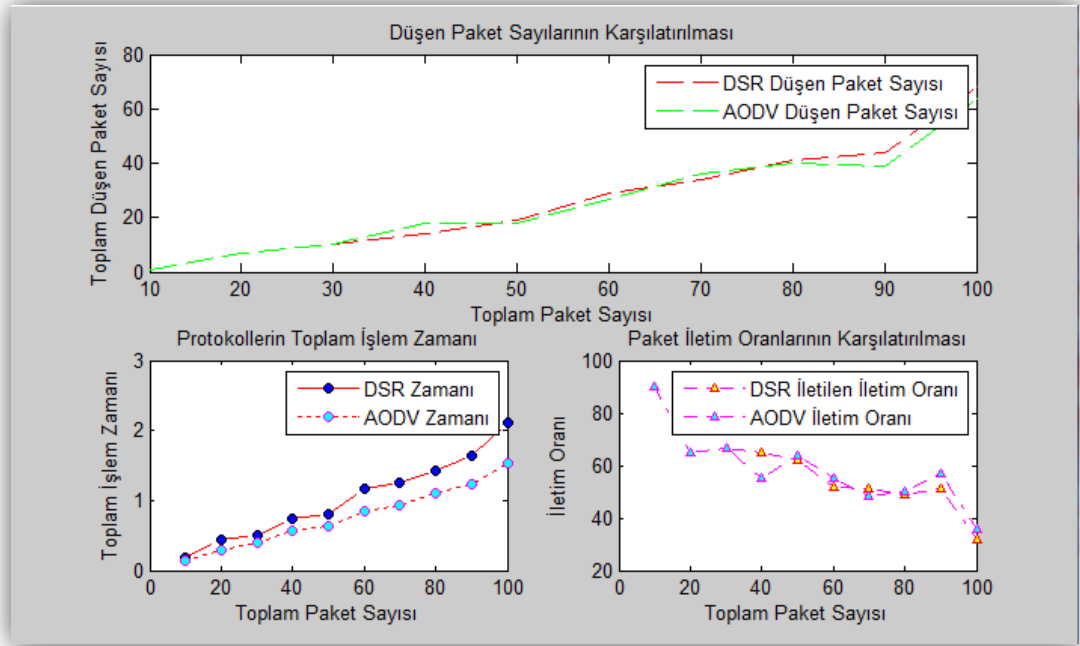
oranları görülmüştür. Her üç grafik sonuçlarında AODV yönlendirme algoritması, DSR yönlendirme algoritmasına göre daha iyi performans göstermiştir. Paket iletim gecikmesi daha düşük, paket iletim oranı daha yüksektir.

İlk senaryo için son oluşturulan ağdaki düğümlerin kapsama alanı 25 olarak alınmıştır. Ağdaki toplam 60 düğüm, 25 kapsama alanı ile Şekil 4.9'daki gibi rastgele yerleştirilmiştir.



Şekil 4.9: 60 Düğüm, 25 Kapsama Alanı İle Oluşturulmuş Mesh Ağ

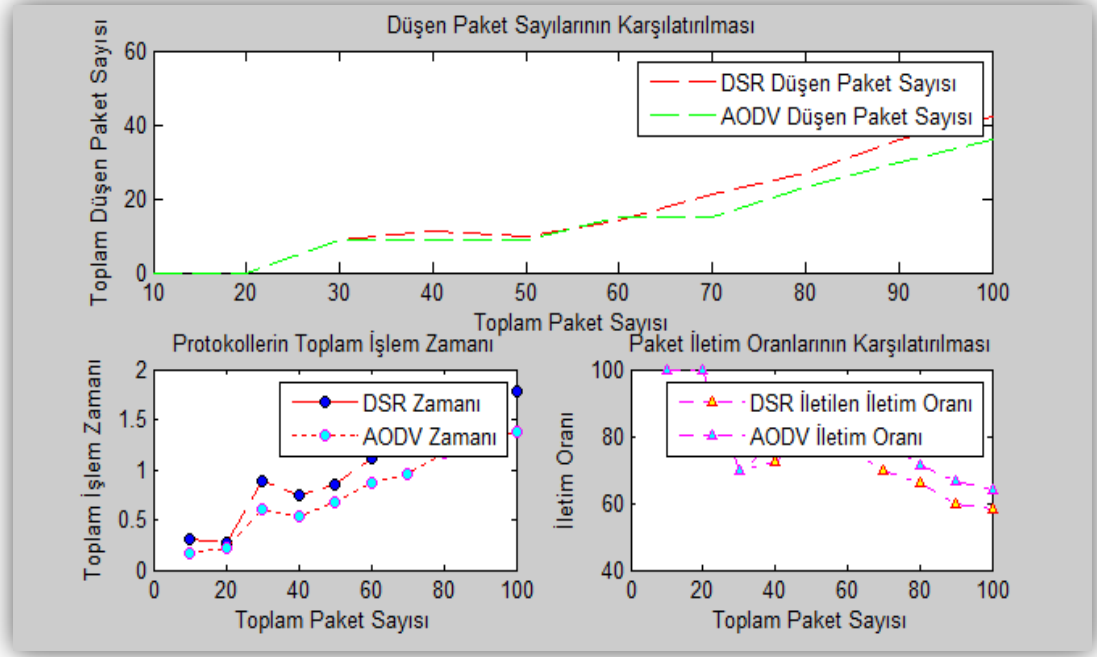
Yönlendirme algoritmalarının belirtilen parametreler ile performans karşılaştırma grafikleri Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de gösterilmektedir. Elde edilen veriler Tablo 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 2

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	1	0,1809	90	1	0,1459	90
20	7	0,4322	65	7	0,2810	65
30	10	0,5103	66,66	10	0,4058	66,66
40	14	0,7476	65	18	0,5775	55
50	19	0,8075	62	18	0,6285	64
60	29	1,1730	51,66	27	0,8450	55
70	34	1,2584	51,42	36	0,9417	48,57
80	41	1,4181	48,75	40	1,1006	50
90	44	1,6306	51,11	39	1,2303	56,66
100	68	2,1091	32	64	1,5287	36

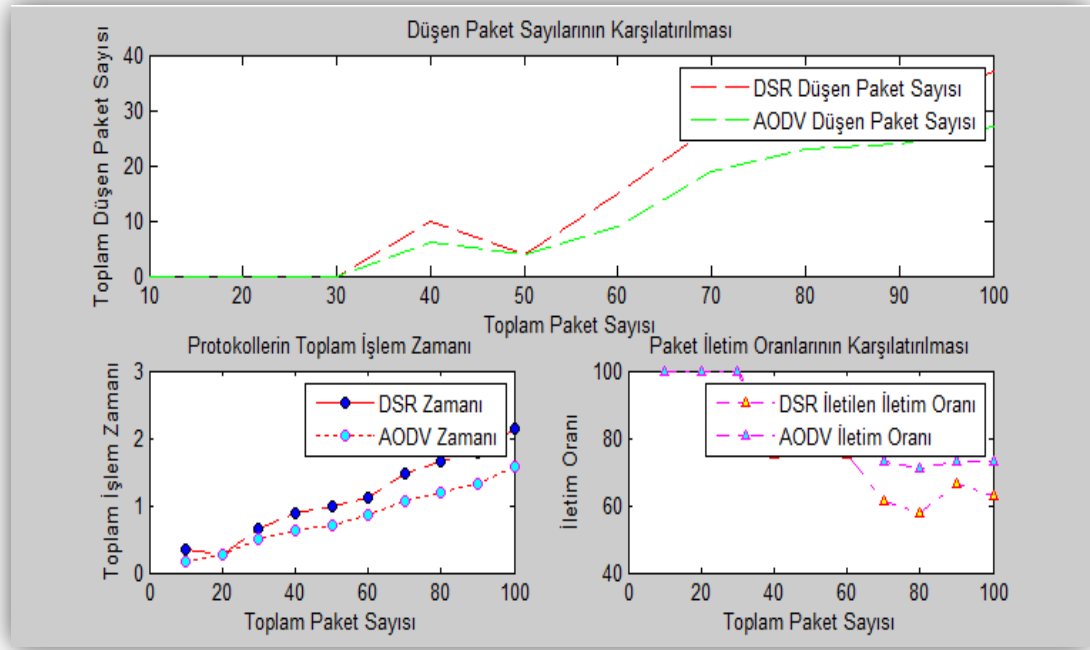
Tablo 4.7: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 2



Şekil 4.11: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 4

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,3104	100	0	0,1624	100
20	0	0,2698	100	0	0,2253	100
30	9	0,8904	70	9	0,6048	70
40	11	0,7438	72,5	9	0,5277	77,5
50	10	0,8499	80	9	0,6798	82
60	14	1,1160	76,66	15	0,8741	75
70	21	1,2436	70	15	0,9572	78,57
80	27	1,5862	66,25	23	1,1642	71,25
90	36	1,7321	60	30	1,3120	66,66
100	42	1,7814	58	36	1,3826	64

Tablo 4.8: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 4



Şekil 4.12: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 6

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
10	0	0,3503	100	0	0,1775	100
20	0	0,2808	100	0	0,2613	100
30	0	0,6561	100	0	0,4970	100
40	10	0,8834	75	6	0,6284	85
50	4	0,9920	92	4	0,7126	92
60	15	1,1194	75	9	0,8661	85
70	27	1,4676	61,42	19	1,0760	72,85
80	34	1,6487	57,5	23	1,1987	71,25
90	30	1,7908	66,66	24	1,3081	73,33
100	37	2,1329	63	27	1,5721	73

Tablo 4.9: Düğüm Sayısı: 60, Kapsama Alanı: 25 ve Kuyruk Boyutu: 6

Kapsama alanı 25 olarak alındığında; ağdaki düğümlerin ilk komşu sayısı artmıştır, daha geniş alan hakkında bilgi sahibi olur duruma gelmişlerdir. Elde edilen grafiklerde ve tablolarda da görüldüğü gibi önceki iki çalışmadan farklı olarak iletilen paket oranı bu çalışmada daha yüksek çıkmıştır. Paket sayısı düşükken algoritmalar daha iyi sonuçlar verirken, paket sayısı artmaya başladıktan sonra; ağ yoğunluğu arttığından dolayı düşen paket sayısı artmıştır. Kapsama alanı arttığında da AODV yönlendirme algoritması, DSR yönlendirme algoritmasına göre daha iyi performans göstermiştir.

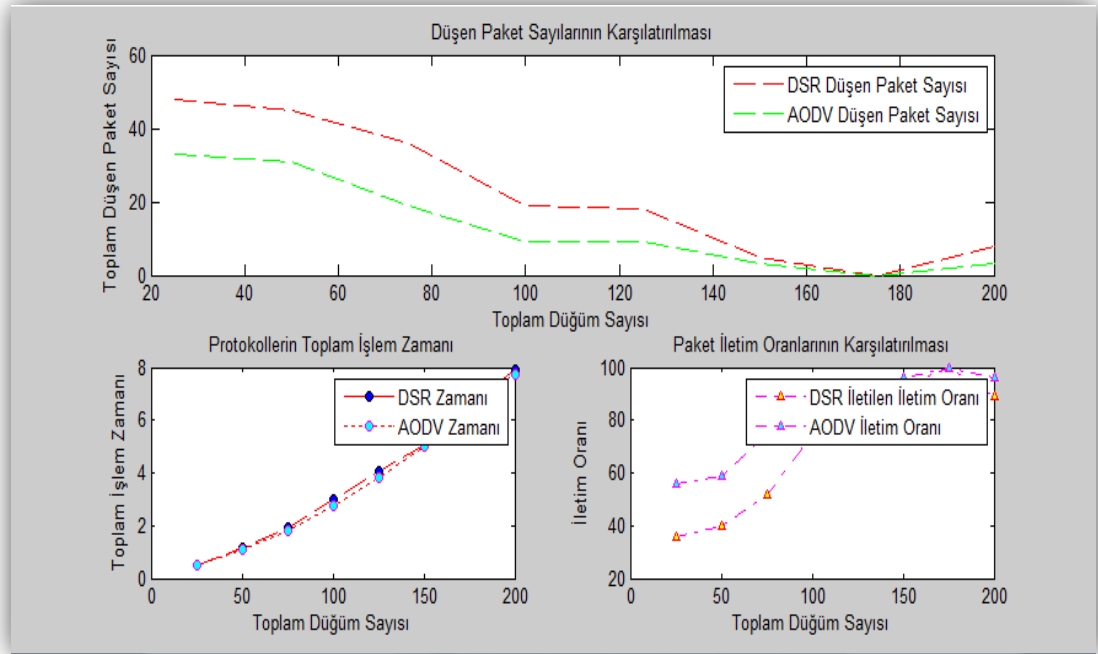


İlk senaryo ortamındaki çalışmalar sonucunda elde edilen grafiklerde AODV yönlendirme algoritmasının DSR yönlendirme algoritmasına göre daha iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bütün grafiklerde ve tablolarda AODV, DSR' ye göre daha kısa sürede yolu belirleyip, paketleri hedefe göndermiştir. Hedefe ulaşan paket sayısı düğüm kuyruk boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterse de genel olarak AODV protokolünde hedefe ulaşan paket sayısı daha fazladır. Düğümlerin kuyruk boyutu arttıkça hedefe ulaşan paket sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Düğümlerin kapsama alanı arttıkça da, ağda iletişimde oldukları düğüm sayı artmıştır ve gönderilecek paketlerin yolları daha kısa sürede belirlenebilmiştir.

#### **4.2. DEĞİŞEN DÜĞÜM SAYISINA GÖRE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI**

İkinci oluşturulan senaryoda değişken düğüm sayılı ağda; sabit paket sayısı, değişken düğüm kuyruk boyutu ve düğüm kapsama alanı ile yönlendirme algoritmalarının toplam işlem zamanı, düşen paket sayısı ve paket iletim oranları karşılaştırılmaktadır.

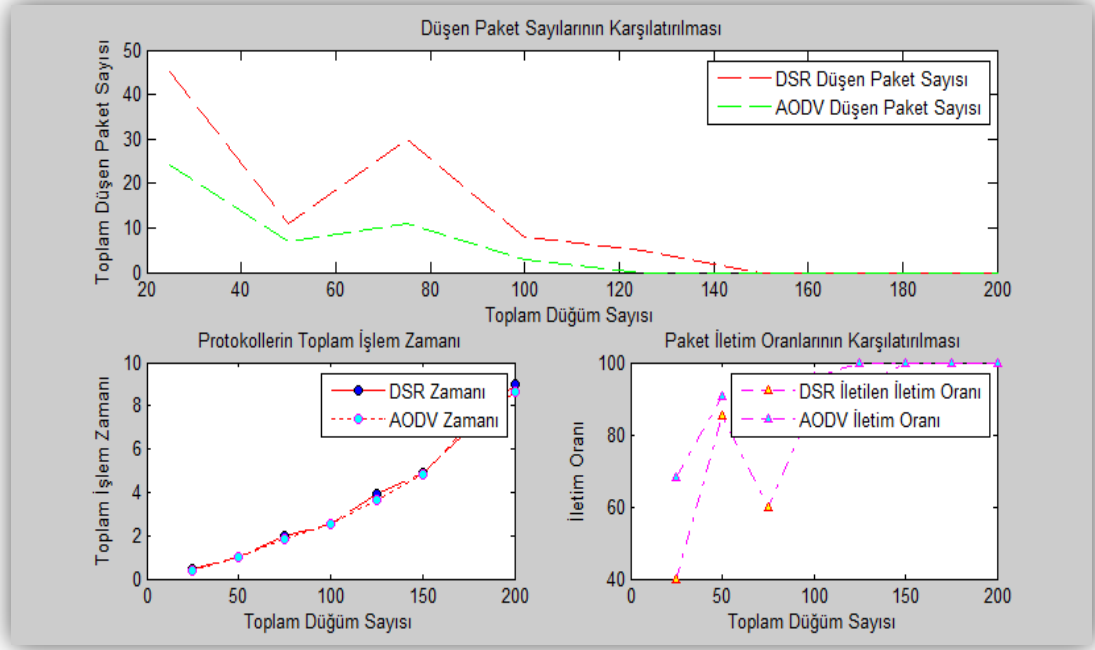
İlk oluşturulan ağda düğüm kapsama alanı 5 olarak alınıp düğüm kuyruk boyutu 4 ve 6 alınmıştır. Bu ağdaki ve diğer ağdaki düğüm sayısı 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 ve 200 olarak değişmektedir. Yönlendirme algoritmalarının belirtilen parametreler ile performans karşılaştırma grafikleri Şekil 4.13 ve 4.14'te gösterilmektedir. Elde edilen veriler Tablo 4.10 ve 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13: Kapsama Alanı: 5 ve Kuyruk Boyutu: 4

Algorithm	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
25	48	0,5275	36	33	0,5028	56
50	45	1,1390	40	31	1,0994	58,66
75	36	1,9184	52	19	1,8161	74,66
100	19	3,0148	74,66	9	2,7388	88
125	18	4,0643	76	9	3,8219	88
150	5	5,0511	93,33	3	5,0323	96
175	0	6,6419	100	0	6,7279	100
200	8	7,9006	89,33	3	7,7539	96

Tablo 4.10: Kapsama Alanı: 5 ve Kuyruk Boyutu: 4



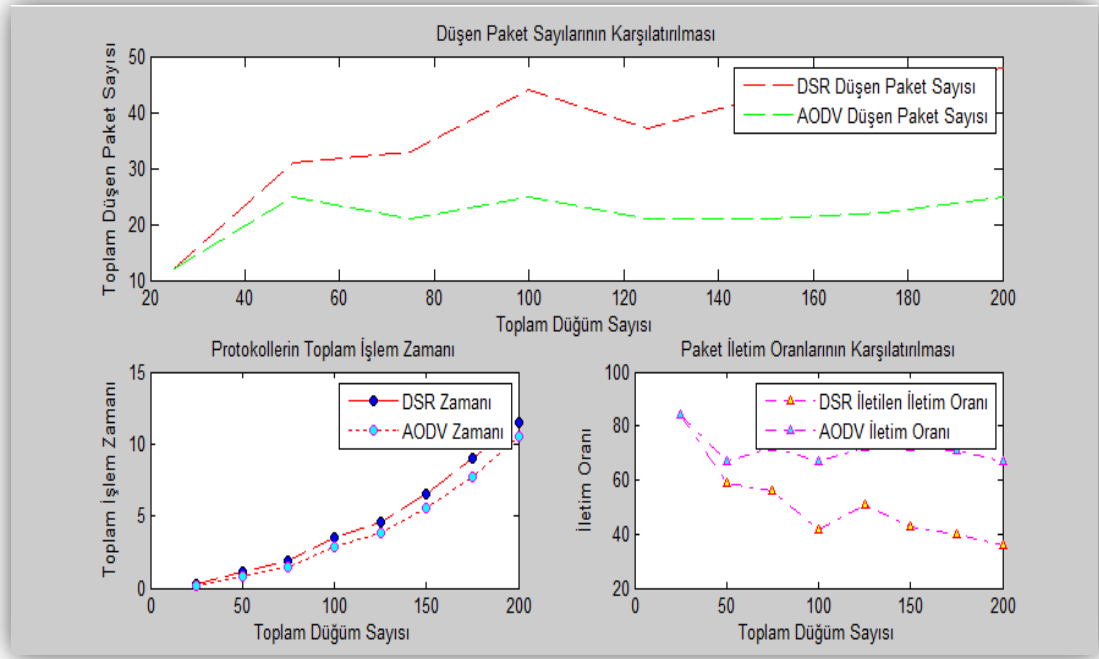
Şekil 4.14: Kapsama Alanı: 5 ve Kuyruk Boyutu: 6

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
25	45	0,4675	40	24	0,4137	68
50	11	0,9839	85,33	7	1,0310	90,66
75	30	1,9866	60	11	1,8340	85,33
100	8	2,5619	89,33	3	2,5397	96
125	5	3,9386	93,33	0	3,6180	100
150	0	4,8663	100	0	4,8223	100
175	0	6,9016	100	0	7,1128	100
200	0	8,9735	100	0	8,6204	100

Tablo 4.11: Kapsama Alanı: 5 ve Kuyruk Boyutu: 6

Elde edilen iki grafikte; düğüm sayısı değişken, paket sayısı sabit olduğunda her iki algoritmada yakın zamanlarda işlemlerini gerçekleştiriyorlar. Her iki algoritmada paket iletimi, düğüm sayısı arttıkça artmaktadır. Buna ilave olarak da kuyruk boyutunun da iletim oranının artmasında etkisi bulunmaktadır.

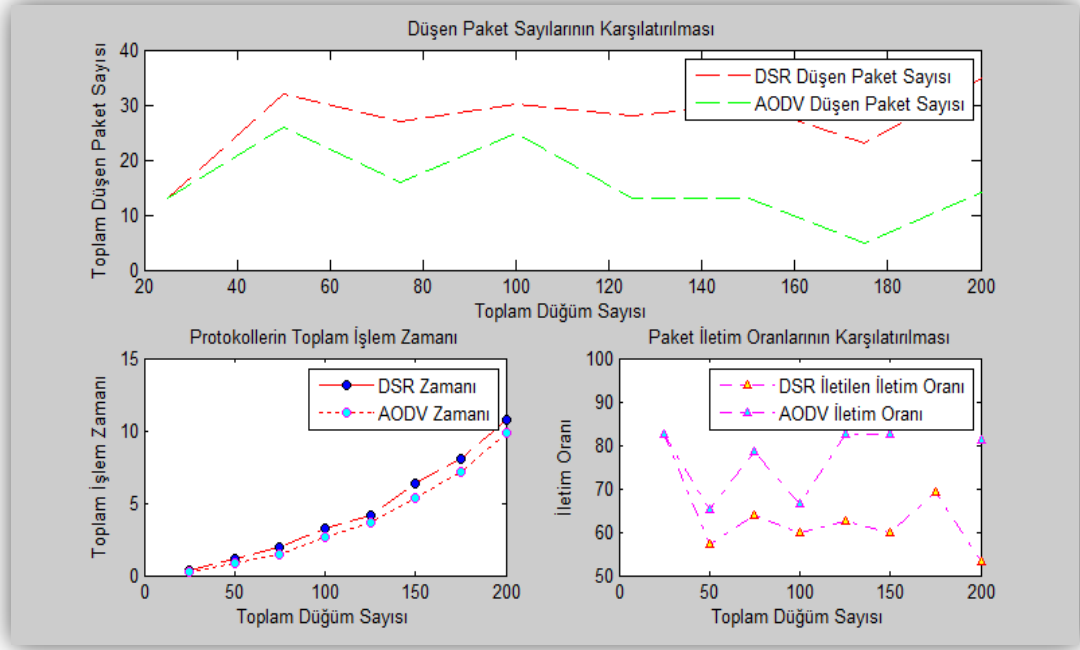
İkinci oluşturulan çalışmada düğüm kapsama alanı 15 olarak alınıp kuyruk boyutu 4 ve 6 alınmıştır. Yönlendirme algoritmalarının belirtilen parametreler ile performans karşılaştırma grafikleri 4.15 ve 4.16'da gösterilmektedir. Elde edilen veriler Tablo 4.12 ve 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.15: Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 4

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
25	12	0,2318	84	12	0,2049	84
50	31	1,0865	58,66	25	0,8589	66,66
75	33	1,9316	56	21	1,4821	72
100	44	3,5545	41,33	25	2,8748	66,66
125	37	4,6366	50,66	21	3,8639	72
150	43	6,5461	42,66	21	5,5675	72
175	45	8,9584	40	22	7,7620	70,66
200	48	1,5222	36	25	10,5195	66,66

Tablo 4.12: Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 4



Şekil 4.16: Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6

Algoritma	DSR			AODV		
	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)	Düşen Paket Sayısı	İletim Zamanı (sn.)	İletim Oranı (%)
25	13	0,3169	82,66	13	0,2612	82,66
50	32	1,1598	57,33	26	0,8187	65,33
75	27	1,9539	64	16	1,4838	78,66
100	30	3,2815	60	25	2,6571	66,66
125	28	4,1868	62,66	13	3,6530	82,66
150	30	6,3646	60	13	5,3816	82,66
175	23	8,0323	69,33	5	7,1622	93,33
200	35	10,7914	53,33	14	9,8151	81,33

Tablo 4.13: Kapsama Alanı: 15 ve Kuyruk Boyutu: 6

Düğümün kapsama alanı arttıkça; algoritmalar arasında zaman farkı ortaya çıkmaktadır. AODV, DSR'ye göre paket iletiminde ve işlem zamanı olarak daha iyi olduğu grafiklerde görülmektedir.

İkinci senaryodaki çalışmada paket sayısı sabitken, düğüm sayısı değiştiğinde yönlendirme protokollerinin nasıl performans göstereceği incelenmek istenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen grafiklerde de AODV yönlendirme algoritması DSR yönlendirme algoritmasına göre daha iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bütün grafiklerde düğümün kapsama alanı düşüken AODV ve DSR'nin

toplam işlem zamanının birbirlerine çok yakın olduğu, kapsama alanı değiştikçe AODV'nin DSR'ye göre daha kısa sürede yolu belirleyip, paketleri hedefe gönderdiği gözlemlenmiştir. Hedefe ulaşan paket sayısı düğüm sayısı arttıkça artmaktadır.

Düğümün kuyruk boyutu arttıkça hedefe ulaşan paket sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Düğümün kapsama alanı arttıkça da, ağda iletişimde oldukları düğüm sayısı artmıştır ve gönderilecek paketlerin yolları daha kısa sürede belirlenebilmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kablosuz Mesh Ağlar, alt yapısız olarak çalışabilen 4. Jenerasyon (4G) dediğimiz gelecek nesil ağlar içerisinde yerini alacak yeni bir teknolojidir. 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 sahiptir. Diğer teknolojilere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Günümüzde birçok internet geniş band bağlantısı hem kablo hem de DSL üzerinden sağlanır. Maalesef, nüfusun büyük bir çoğunluğu internete bağlanmak için gerekli geniş band 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 band erişim teknolojisi olarak dikkate değer başka avantajlara sahiptir. Bu avantajlar düşük ön ödeme masrafı, hızlı kurulum, dayanıklılık, müşteri kapsamı.

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), bir P-MP (point-to-multipoint - 802.16) ile karşılaştırıldığında bir WMN'ün gözle görülür biçimde kapsamı arttırmıştır. WMN ile kurulan bir geniş band 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 ağlarda ve diğer ağlarda; yönlendirmede amaç paketleri kaynaktan hedefe iletebilmektir. Kullanılan yönlendirme algoritmalarının genel yönlendirme gereksinimleri: ölçeklenebilirlik, güvenilirlik, verimlilik, yük dengeleme, tıkanıklık kontrolüdür. Geliştirilen yönlendirme protokollerinin ağ topolojisindeki ve

servislerindeki değişiklikleri saptamak ve cevap vermek, bu bilgiyi yönlendirme çalışması için etrafa yaymak, mobilite yönetimini sağlamak, yolların bakımı ve seçimi, seçilen yollara bağlı olarak trafiği iletmek gibi fonksiyonları sağlamaları gerekmektedir.

Bu çalışmada MATLAB programı kullanılarak kablosuz mesh ağlar için AODV ve DSR yönlendirme algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır.

DSR ve AODV yönlendirme algoritmalarının her ikisi de talep esaslı yol arama prosedürünü kullanmaktadır. Bu yönlendirme algoritmalarında kaynak – hedef düğümleri arasındaki yol talep edildiğinde bulunmaktadır. Yönlendirme algoritmaları arasında bazı önemli karakteristik farklar bulunmaktadır. DSR yönlendirme algoritması kaynak yönlendirmesi ve kaynak rotaları kullanır, herhangi bir periyodik veya zamanlayıcı esaslı faaliyetlere bağlı olmamaktadır. AODV hedef başına bir yol olacak şekilde yönlendirme tabloları hedef sıra numaraları ve döngü önleme ve yolların canlılığını tespit etme mekanizmasını kullanır.

#### Performans Metrik Değerleri:

- Paket Teslim Oranları: Hedeflere teslim edilen veri paketlerinin, üretilen paketlere oranı
- Protokollerin Toplam İşlem Zamanı: Bu değer kapsamında kaynak – hedef düğüm çifti arasında yolun bulunma zamanı, paketlerin belirlenen yollar üzerinden gönderilme zamanını içermektedir.
- Düşen Paket Sayısı: Üretilen paketlerden kaç tanesi hedefe ulaşmadan ağdan düşüyor. Ağda dolaşan paketler düğümdeki kuyruk doluyorsa ve kuyruktaki bekleme süresi belirlenen süreden fazlaysa düşürülüyor.

Bahsedilen metrikler, en iyi performanslı trafik için önemli unsurdur; fakat bu metrik değerlerinin tamamen bağımsız olmadığı unutulmamalıdır.

İlk oluşturulan senaryo sonucunda elde edilen ortalama değerler Tablo 5.1 ve 5.2’de gösterilmektedir.



Düğüm Sayısı	Ortalama Paket Sayısı	Kapsama Alanı	Kuyruk Boyutu	DSR			AODV		
				Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)	Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)
60	55	10	2	3,3197	41	33,04	3,0342	36	40,19
			4	1,0685	32	50,72	0,9907	19	70,58
			6	0,9539	27	58,94	0,8386	14	78,41
		15	2	1,0810	36	41,60	0,9261	31	48,90
			4	1,0660	27	61,98	0,9139	19	73,27
			6	1,0659	18	75,04	0,9104	11	86,21
		25	2	1,0268	27	58,36	0,7685	26	58,69
			4	1,0524	17	75,34	0,7890	15	78,50
			6	1,1322	16	79,06	0,8298	11	85,24

Tablo 5.1: 1. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler – 1

Tablo 5.1'deki veriler ışığında düğümlerin kapsama alanı arttıkça ve paket gönderme işleminin daha hızlı gerçekleştiği, düğümlerin kuyruk boyutu arttığında algoritmaların daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Genel olarak algoritmaların performanslarına bakıldığında; ağda bütün yönlendirme bilgisini dolaştırarak ağın yoğunluğunu arttıran DSR yönlendirme algoritmasının performansının daha düşük olduğu görülmektedir.

Düğüm Sayısı	Paket Sayısı	DSR			AODV		
		Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)	Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)
60	10	0,3890	0	95,56	0,5556	0	94,44
	20	0,4294	5	77,22	0,3895	4	78,89
	30	0,7222	9	68,50	0,6160	7	75,55
	40	0,9667	17	58,61	0,8269	12	67,78
	50	1,0955	20	59,56	0,9482	14	71,78
	60	1,4034	27	55,18	1,1945	20	65,36
	70	1,5887	36	48,08	1,3768	26	62,37
	80	1,9513	45	43,33	1,6645	34	57,36
	90	2,1281	49	45,79	1,7991	37	58,88
	100	2,3995	58	41,55	2,0957	43	56,44

Tablo 5.2: 1. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler – 2

Ağ boyutunu sabit tutup paket sayısını arttırdığımız zaman algoritmaların iletim oranları düşmektedir.

İkinci oluşturulan senaryo sonucunda elde edilen ortalama değerler Tablo 5.3 ve 5.4'te gösterilmektedir.

Ortalama Düğüm Sayısı	Paket Sayısı	Kapsama Alanı	Kuyruk Boyutu	DSR			AODV		
				Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)	Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)
112	75	5	4	3,7822	22	70,17	3,6866	13	82,17
			6	3,8350	12	83,50	3,7490	6	92,50
		15	4	3,5585	37	51,16	4,1417	22	71,33
			6	4,5109	27	63,66	3,9041	16	79,16

Tablo 5.3: 2. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler – 1

Düğümün kapsama alanı arttıkça algoritma performansı da arttığı görülmektedir.

Paket Sayısı	Düğüm Sayısı	DSR			AODV		
		Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)	Ortalama İletim Zamanı (sn)	Ortalama Düşen Paket Sayısı	Ortalama İletim Oranı (%)
75	25	0,3859	26	60,67	0,3457	21	72,67
	50	1,0923	30	60,33	0,9520	22	70,32
	75	1,9476	32	58,00	1,6540	17	77,66
	100	3,1031	25	66,33	2,7026	16	79,33
	125	4,2065	22	70,66	3,7392	11	85,66
	150	5,7070	20	73,99	5,2009	9	87,66
	175	7,6333	17	77,33	7,1912	7	91,00
	200	7,2969	23	70,00	9,1772	11	86,00

Tablo 5.4: 2. Senaryo Sonucu Elde Edilen Ortalama Değerler – 2

Ağdaki düğüm sayısını artırıp paket sayısını sabit tuttuğumuzda paket iletim oranının daha yüksek olmuştur; fakat iletim zamanı artmıştır.

Elde edilen grafiklere ve tablolara göre her iki senaryoda da AODV yönlendirme algoritması DSR yönlendirme algoritmasına göre paket iletiminde daha başarılı olmuştur. Düğüm sayısının sabit ve 60 olduğu ağda; paket sayısı arttıkça düşen paket sayısı artmakta, gönderilen paket sayısı sabit ve ağ boyutu arttığında düşen paket sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Algoritmaların paket iletim oranları da aynı şekilde

değişmektedir. Algoritmaların toplam işlem zamanı ilk senaryoda AODV, DSR'ye göre daha kısa sürede işlem yaptığı, ikinci senaryoda düğümlerin kapsama alanı düşüken iki algoritmanın toplam işlem zamanı birbirine daha yakın çıkmakta, kapsama alanı arttıkça AODV, DSR'ye göre daha kısa sürede işlemini gerçekleştirmiştir. AODV yönlendirme algoritması, DSR yönlendirme algoritmasına göre daha düşük gecikme ile paket iletimi gerçekleştirmiş.

Simülasyona bağlı olarak yapılan genel gözlemlere göre, paket teslim oranları ve toplam işlem zamanına bakıldığında AODV, DSR'ye göre daha iyi performans göstermiştir.

Kablosuz mesh ağlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları, oluşturulan simülasyon ortamı geliştirilerek farklı senaryolarla (düğümlerin hareketli olduğu, farklı teknolojilerin kullanıldığı, kanal sayının birden fazla olduğu...) performans analizi yapılabilir. Kablosuz mesh ağlara yönelik birçok yönlendirme metriği dizayn edilmiştir. Bu metrikler sıçrama sayısı, bloklama metriği, beklenen iletim sayısı, beklenen iletim zamanı, modifiye edilmiş beklenen iletim sayısı, ağ tahsis vektör sayısı, arayüz ve kanal anahtarlama metriğidir. Bu metrikler arasındaki performans farklılıklarını ölçmeye yönelik çalışmalar da yapılabilir. Mesh ağlarda çok sayıda düğümün bulunması bu ağlardaki kompleksiteyi arttırdığı gibi, bu sistemleri ölçeklenebilirlik, yönetilebilirlik ve güvenlik gibi konularda da tehditlerin hedefi haline getirmektedir. İhtiyaçlara cevap verebilmek için güvenlik ve bilginin korunumu üzerinde çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

AKYILDIZ, I.F., WANG, X., 2009, *Wireless Mesh Networks*, WILEY, United Kingdom, 978-0-470-03256-5

ASWALL, M.S., RAWAT, P., KUMAR, T., 2009, “*Threats and Vulnerabilities in Wireless Mesh Networks*”, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 4, November.

BELLARDO, J., SAVAGE, S., 2003, “*802.11 Denial of- Service Attacks: Real Vulnerabilities and Practical Solutions*”. In Proceedings of the USENIX Security Symposium, pages 15–27, August.

BEYER, D., 2002, “*Fundamental characteristics and benefits of wireless routing (“mesh”) networks*,” in Proc. of the International Technical Symposium of the Wireless Communications Association, (San Jose, CA).

CAMPISTA, M.E.M. , ESPOSITO, P.M., MORAES, I.M., COSTA, L.H.M.K., CARLOS, O., PASSOS, D.G., ALBUQUERQUE, C.V.N.D., SAADE, D. C.M., RUBINSTEIN, M.G., 2008, “*Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks*”, IEEE Network.

CHUN, E., LIUYONG, LV.Q., MEILIN, S., 2000, “*Routing Protocols Overview and Desig Issues for Self- Organized Network*”, Communication Technology Proceedings, 2000. WCC – ICCT 2000.

COUTO, D.DE, AGUAYO, D., BICKET, J., MORRIS, R., 2003, *A high- throughput path metric for multi-hop wireless routing*. In Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom).

DRAVES, R., PADHYE, J., ZILL, B., 2004, *Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks*. In Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM), August.

GUPTA, P., KUMAR, P.R., 2000, *The capacity of wireless networks*. IEEE Transactions on Information Theory, 46(2):388404 March 2000.

JUN, J., SICHITIU, M.L., 2008, “*MRP: Wireless mesh networks routing protocol*”, Computer Networks Journal.

JUN, J., SICHITIU, M.L., 2003, “*Fairness and QoS in multihop wireless networks,*” in Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2003), (Orlando, FL)

KOSKAL, C.E., BALAKRISHNAN, H., 2006, *Quality-aware routing metrics for time-varying wireless mesh networks.* IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 24(11):1984-1994, November 2006.

METHLEY, S., 2009, *Essentials of Wireless Mesh Networking,* CAMBRIDGE, New York, 978-0-511-58070-3

MIHAIL, L.S., 2005, “*Wireless Mesh Networks: Opportunities And Challenges*”, Wireless World Congress, May 2005.

MUHAMMAD, S.S., HONG, C.S., 2007, “*Security Issues in Wireless Mesh Networks,*” IEEE International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering.

MURTHY, C.S.R., MANOJ, B.S., 2004, “*Ad-Hoc Wireless Networks - Architectures And Protocols*”, Prentice Hall, New Jersey, 0-13-147023-X.

RAYNER, K., 2003. *Mesh wireless networking.* Communications Engineer, 1(5):4447, Oct.-Nov

ROYER, E.M., TOH, C.K., 2011, “*A Review of Current Routing Protocols for Ad Ad Hoc Mobile Wireless Networks*”.

WAHARTE, S., ISHIBASHI, B., BOUTABA, R., 2008, “*Performance Study of Wireless Mesh Networks Routing Metrics*”, Computer Systems and Applications, April.

WEI, H.Y. , GANGULY, S., IZMAILOV, R., HAAS, Z., 2004, *Interference-aware ieee 802.16 wimax mesh networks.* In Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC).

WHITEHEAD, P., 2000 “*Mesh Networks; e new Architecture for Broadband Wireless Access Systems*”, IEEE Radio and Wireless Conference, September

ZHANG, Y., LEE W., 2005, “*Security in Mobile Ad-Hoc Networks,*” In Book Ad Hoc Networks Technologies and Protocols, Springer.

## EKLER

### EK 1: MATLAB SİMÜLASYON KODLARI

Simülasyonlarda DSR ve AODV yönlendirme algoritmaları MATLAB üzerinde tasarlanmıştır. Aşağıda simülasyon kodları verilmektedir.

%%% Kablosuz Mesh Ağlarda Yönlendirme Algoritmalarının Performans Analizi

#### Paket Sayısının Değiştiği Kod Bölümü:

```
%%% Kaynak ile Düşüm arasında yol bulunarak paketler gönderiliyor.
function FindPath_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Belirlenen sayı kadar; random olarak hedef ve kaynak düşüm çiftleri
oluşturuluyor.
DugumSayisi =str2double(get(handles.TotalNodes,'String'));
for j=1:10
    if j == 1
        ToplamCiftSayisi=10;
        for i=1: ToplamCiftSayisi
            Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
            Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        end
        [DSRIletilenPaket1,DSRDusenPaket1,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket1,AODVDusenPaket1,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
        DSR(j).Time = 0;
        AODV(j).Time = 0;
        for s=1:ToplamCiftSayisi
            DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s) + DSR(j).Time;
            AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s) + AODV(j).Time;
        end
    elseif j == 2
        ToplamCiftSayisi=20;
        for i=1: ToplamCiftSayisi
            Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
            Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        end
        [DSRIletilenPaket2,DSRDusenPaket2,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket2,AODVDusenPaket2,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
        DSR(j).Time = 0;
        AODV(j).Time = 0;
        for s=1:ToplamCiftSayisi
            DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
            AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
        end
    elseif j == 3
        ToplamCiftSayisi=30;
        for i=1: ToplamCiftSayisi
```

```

        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end

[DSRIletilenPaket3,DSRDusenPaket3,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket3,AODVDusenPaket3,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 4
    ToplamCiftSayisi=40;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end

[DSRIletilenPaket4,DSRDusenPaket4,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket4,AODVDusenPaket4,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 5
    ToplamCiftSayisi=50;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end

[DSRIletilenPaket5,DSRDusenPaket5,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket5,AODVDusenPaket5,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 6
    ToplamCiftSayisi=60;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end

[DSRIletilenPaket6,DSRDusenPaket6,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

```

```
[AODViletillenPaket6,AODVDusenPaket6,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 7
    ToplamCiftSayisi=70;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
```

```
[DSRIletilenPaket7,DSRDusenPaket7,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
[AODViletillenPaket7,AODVDusenPaket7,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 8
    ToplamCiftSayisi=80;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
```

```
[DSRIletilenPaket8,DSRDusenPaket8,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
[AODViletillenPaket8,AODVDusenPaket8,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 9
    ToplamCiftSayisi=90;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
```

```
[DSRIletilenPaket9,DSRDusenPaket9,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
```

```
[AODViletillenPaket9,AODVDusenPaket9,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,hand
les.Y);
```

```
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
```



```

        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
elseif j == 10
    ToplamCiftSayisi=100;
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end

[DSRIletilenPaket10,DSRDusenPaket10,DSR(j).DSRTime]=DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);

[AODVIletilenPaket10,AODVDusenPaket10,AODV(j).AODVTime]=AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,handles.matriz,handles.X,
handles.Y);
    DSR(j).Time = 0;
    AODV(j).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(j).Time = DSR(j).DSRTime(s)+ DSR(j).Time;
        AODV(j).Time = AODV(j).AODVTime(s)+AODV(j).Time;
    end
end
end
end

```

### Düğüm Sayısının Değiştiği Kod Bölümü:

```

for CountPacket = 1:8
    if CountPacket == 1
        DugumSayisi = 25
        R= 15;
        for i=1:1:DugumSayisi
            X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);    % Düğümlerin X Koordinatları
            Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);    % Düğümlerin Y Koordinatları
        end
        % Düğümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı oluşturuluyor.
        for j=1:DugumSayisi
            for s = 1:DugumSayisi
                distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
                if distance <= R
                    matrix(j, s) = 1
                    line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                    matriz(j,s)=distance
                else
                    matrix(j,s) = inf;
                    matriz(j,s) = inf;
                end
            end
        end
        ToplamCiftSayisi=75;    %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
        for i=1: ToplamCiftSayisi
            Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
            Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        End
        [DSRIletilenPaket1,DSRDusenPaket1,DSR(CountPacket).DSRTime] =
        DSRPerformansAnalizi
        (DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
        [AODVIletilenPaket1,AODVDusenPaket1,AODV(CountPacket).AODVTime]=
        AODVPerformansAnalizi
        (DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
        DSR(CountPacket).Time = 0;
        AODV(CountPacket).Time = 0;
        for s=1:ToplamCiftSayisi
            DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) + DSR(CountPacket).Time;
        end
    end
end

```

```

AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
    end
elseif CountPacket == 2
    DugumSayisi = 50
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi
            distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
            if distance <= R
                matrix(j, s) = 1
                line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                matriz(j,s)=distance
            else
                matrix(j,s) = inf;
                matriz(j,s) = inf;
            end
        end
    end
    ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
    [DSRIletilenPaket2,DSRDusenPaket2,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source, Destination,matriz,X,Y);
    [AODVIletilenPaket2,AODVDusenPaket2,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source, Destination,matriz,X,Y);
    DSR(CountPacket).Time = 0;
    AODV(CountPacket).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) + DSR(CountPacket).Time;
        AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
    end
elseif CountPacket == 3
    DugumSayisi = 75
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi
            distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
            if distance <= R
                matrix(j, s) = 1
                line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                matriz(j,s)=distance
            else
                matrix(j,s) = inf;
                matriz(j,s) = inf;
            end
        end
    end
    ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);

```

```

End
[DSRIletilenPaket3,DSRDusenPaket3,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
[AODVIletilenPaket3,AODVDusenPaket3,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
DSR(CountPacket).Time = 0;
AODV(CountPacket).Time = 0;
for s=1:ToplamCiftSayisi
    DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
    AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
end
elseif CountPacket == 4
    DugumSayisi = 100
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı
    oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi
            distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(j))^2);
            if distance <= R
                matrix(j, s) = 1
                line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                matriz(j,s)=distance
            else
                matrix(j,s) = inf;
                matriz(j,s) = inf;
            end
        end
    end
    ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
    [DSRIletilenPaket4,DSRDusenPaket4,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
[AODVIletilenPaket4,AODVDusenPaket4,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
DSR(CountPacket).Time = 0;
AODV(CountPacket).Time = 0;
for s=1:ToplamCiftSayisi
    DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
    AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
end
elseif CountPacket == 5
    DugumSayisi = 125
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı
    oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi

```

```

distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
if distance <= R
    matrix(j, s) = 1
    line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
    matriz(j,s)=distance
else
    matrix(j,s) = inf;
    matriz(j,s) = inf;
end
end
end
ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
for i=1: ToplamCiftSayisi
    Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
end
[DSRIletilenPaket5,DSRDusenPaket5,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
[AODVIletilenPaket5,AODVDusenPaket5,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
DSR(CountPacket).Time = 0;
AODV(CountPacket).Time = 0;
for s=1:ToplamCiftSayisi
    DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
    AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
end
elseif CountPacket == 6
    DugumSayisi = 150
    R= 15;
for i=1:1:DugumSayisi
    X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Düğümlerin X Koordinatları
    Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Düğümlerin Y Koordinatları
end
% Düğüm yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı
oluşturuluyor.
for j=1:DugumSayisi
    for s = 1:DugumSayisi
        distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
        if distance <= R
            matrix(j, s) = 1
            line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
            matriz(j,s)=distance
        else
            matrix(j,s) = inf;
            matriz(j,s) = inf;
        end
    end
end
end
ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
for i=1: ToplamCiftSayisi
    Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
end
[DSRIletilenPaket6,DSRDusenPaket6,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
[AODVIletilenPaket6,AODVDusenPaket6,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
DSR(CountPacket).Time = 0;
AODV(CountPacket).Time = 0;
for s=1:ToplamCiftSayisi

```

```

        DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
        AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
    end
elseif CountPacket == 7
    DugumSayisi = 175
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı
oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi
            distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
            if distance <= R
                matrix(j, s) = 1
                line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                matriz(j,s)=distance
            else
                matrix(j,s) = inf;
                matriz(j,s) = inf;
            end
        end
    end
    ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
    for i=1: ToplamCiftSayisi
        Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
        Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    end
    [DSRIletilenPaket7,DSRDusenPaket7,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
    [AODVIletilenPaket7,AODVDusenPaket7,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
    DSR(CountPacket).Time = 0;
    AODV(CountPacket).Time = 0;
    for s=1:ToplamCiftSayisi
        DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
        AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
    end
else
    DugumSayisi = 200
    R= 15;
    for i=1:1:DugumSayisi
        X(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin X Koordinatları
        Y(i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]); % Dügümlerin Y Koordinatları
    end
    % Dügümler yerleştiriliyor ve düğümler arasındaki bağlantı
oluşturuluyor.
    for j=1:DugumSayisi
        for s = 1:DugumSayisi
            distance = sqrt((X(j) - X(s))^2 + (Y(s) - Y(s))^2);
            if distance <= R
                matrix(j, s) = 1
                line([X(j) X(s)], [Y(j) Y(s)], 'LineStyle', '--');
                matriz(j,s)=distance
            else
                matrix(j,s) = inf;
                matriz(j,s) = inf;
            end
        end
    end
end
end

```

```

end
ToplamCiftSayisi=75; %Ağa toplam 50 tane paket gönderilecek.
for i=1: ToplamCiftSayisi
    Source (i) = randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
    Destination (i)= randint (1,1,[1,DugumSayisi]);
end
[DSRIletilenPaket8,DSRDusenPaket8,DSR(CountPacket).DSRTime] =
DSRPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
[AODVIletilenPaket8,AODVDusenPaket8,AODV(CountPacket).AODVTime]=
AODVPerformansAnalizi
(DugumSayisi,ToplamCiftSayisi,Source,Destination,matriz,X,Y);
DSR(CountPacket).Time = 0;
AODV(CountPacket).Time = 0;
for s=1:ToplamCiftSayisi
    DSR(CountPacket).Time = DSR(CountPacket).DSRTime(s) +
DSR(CountPacket).Time;
    AODV(CountPacket).Time = AODV(CountPacket).AODVTime(s) +
AODV(CountPacket).Time;
end
end
end
end

```

## **ÖZGEÇMİŞ**

Songül TOZAN, 19 Nisan 1987 tarihinde ailesinin 3.çocuğu olarak doğdu. İlköğrenimini Hasip Dinçsoy İlköğretim Okulu'nda üçüncülükle tamamladı. Lise öğrenimini Fatih Gelenbevi Lisesi'nde okul birinciliği ile tamamladı. Mezun olduğu 2005 senesinde İstanbul Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünü okumaya hak kazandı ve 2009 yılında lisans eğitimini tamamladı. Şuan Kara Harp Okulunda Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim dalında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.