

**KABLOSUZ ÖRGÜ AĞLARDA ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ**

Ramazan KOCAOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2012
ANKARA**

Ramazan Kocaoğlu tarafından hazırlanan KABLOSUZ ÖRGÜ AĞLARDA
ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans
tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL

Tez Yöneticisi

Bu çalışmada, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM

Üye : Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Üye :

Üye :

Tarih : 19/12/2011

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ramazan KOCAOĞLU

KABLOSUZ ÖRGÜ AĞLARDA ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ramazan KOCAOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2012

ÖZET

Bu tezde, kablosuz örgü ağlarda yönlendirme işlemi ağın ölçeklenebilirliği açısından ele alınmış ve bu ağlar için ölçeklenebilir bir yönlendirme protokolü geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol Ad-hoc on Demand Scalable Routing Protocol (ADSRP) ihtiyaç duyulduğu anda devreye girerek düğümlerdeki olası kopmalardan dolayı oluşacak paket kayıplarını engellemektedir. Ayrıca, daha az paket kaybı ile ağın ölçeklenebilmesine imkan tanımaktadır. Benzetim aracı olarak Network Simulator 2.33 (ns-2) kullanılmıştır. Önerilen protokol C++ programlama dili kullanılarak kodlanmış ve örgü ağlarda yönlendirme protokolü olarak kullanılabilen Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) ve Ad-hoc on Demand Multipath Distance Vector (AOMDV) yönlendirme protokolleriyle karşılaştırılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen protokolün örgü ağlarda başarılı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 902.1.014
Anahtar Kelimeler : ADSRP, kablosuz örgü ağ, geçiş noktası, çoklu kanal
Sayfa Adeti : 89
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL

SCALABILITY ROUTING PROTOCOL FOR WIRELESS MESH NETWORKS

(M.Sc. Thesis)

Ramazan KOCAOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

INFORMATION INSTITUTE

January 2012

ABSTRACT

In this thesis, routing for wireless mesh networks in terms of scalability have been investigated and a scalability routing protocol has been developed for this networks. Developed protocol Ad-hoc on Demand Scalable Routing Protocol (ADSRP) has been activated whenever it needs and thus, it prevents packet loss due to possible disconnections on nodes. Moreover, it enables scalability of network with more packet loss. Network Simulator 2.33 (ns-2) has been used as simulator tool. Proposed protocol has been coded with C++ programming language and obtained simulation results compared with Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) and Ad-hoc on Demand Multipath Distance Vector (AOMDV) routing protocols. Experimental results show that the developed protocol has been successfully for wireless mesh networks.

Science code	: 902.1.014
Key Words	: ADSRP, wireless mesh network, gate point, multi channel
Page Number	: 89
Adviser	: Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM'e, Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımını esirgemeyen Mehmet ŞİMŞEK'e, her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜRLER	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ ÖRGÜ AĞI (KÖA).....	22
2.1. Kablosuz Örgü Ağ Mimarisi	22
2.1.1. Kablosuz omurga örgü ağı	23
2.1.2. Kablosuz istemci örgü ağı	24
2.1.3. Kablosuz melez örgü ağı	25
2.2. Kablosuz Örgü Ağlarda Yönlendirme Protokolleri.....	27
2.2.1. Ad-Hoc tabanlı yönlendirme protokolleri	27
2.2.1. Kontrollü taşıma yönlendirme protokolleri	28
2.2.3. Trafik farkındalıklı yönlendirme protokolleri	28
2.2.4. Fırsatçı yönlendirme protokolleri	29
2.3. KAÖ'da Kullanılan Metrikler ve Çoklu Kanal Atama Sorunları.....	33
2.3.1. En az sıçrama sayısı metriği	33
2.3.2. Etx ve Ett metriği	33
2.3.3. Çoklu kanal atama	34

2.3.4. Tek radyo çoklu kanal atama.....	35
2.3.5. Çoklu kanal tek radyo atama problemleri	36
3. GELİŞTİRİLEN ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ	38
3.1. Geçiş Noktası Tespit Yaklaşımı	39
3.2. Geçiş Noktası ve Kaynak Düğümler Arasındaki Rotaların Bulunması	40
3.3. Benzetimin Gerçekleştirilmesi	41
3.3.1. Benzetim ortamı	41
3.3.2. ns-2 ağ benzetim aracı	42
3.3.3. Benzetimde kullanılan AODV yönlendirme protokolü	42
3.3.4. Benzetimde kullanılan AOMDV yönlendirme protokolü	46
3.3.5. Benzetim metodolojisi.....	50
3.3.6. Performans ölçütleri	51
3.3.7. Gerçekleştirilen benzetim.....	52
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	62
4.1. İlk Senaryodan Elde Edilen Sonuçlar.....	62
4.2. İkinci Senaryodan Elde Edilen Sonuçlar	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Çizelge 2.1. Literatürdeki kablosuz ağ yönlendirme protokolleri	33

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kablosuz omurga örgü ağı	24
Şekil 2.2. Kablosuz istemci örgü ağı.....	25
Şekil 2.3. Kablosuz melez örgü ağı.....	26
Şekil 2.4. Çoklu Sıçrama Yapısı	26
Şekil 2.5. Kablosuz ağ yönlendirme protokolleri sınıflaması	30
Şekil 2.6. ETX ve ETT metriği	34
Şekil 2.7. Çoklu kanal atama	35
Şekil 2.8. Tek radyo çoklu kanal atama	36
Şekil 2.9. Çok yönlü anten kullanımı.....	38
Şekil 2.10. Çok yönlü anten kullanım sonucu.....	38
Şekil 3.1. AODV’de RREQ paket yapısı	43
Şekil 3.2. AODV yol kurma.....	45
Şekil 3.3. AODV’de yol hatası	46
Şekil 3.4. AOMDV’de yol kurma isteği	47
Şekil 3.5. AOMDV’de yol kurma isteğine dönen cevaplar	48
Şekil 3.6. AOMDV’de sonsuz döngü örneği	49
Şekil 3.7. Ayırık yola aykırı topoloji.....	50
Şekil 3.8. Seçilen tek rota.....	50
Şekil 3.9. Ayırık yol yaklaşımına uygun topoloji ve seçilen ayırık yollar	50
Şekil 3.10. Nam programın ekran görüntüsü	53
Şekil 3.11. İlk senaryonun temsili görünümü	54

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. İlk senaryonun ikinci durumu temsili görünümü.....	56
Şekil 3.13. Benzetimde kullanılan topoloji	57
Şekil 3.14. İkinci benzetimde kullanılan topoloji	61
Şekil 3.15. İkinci benzetimde trafiğin başlaması	61
Şekil 4.1. İlk senaryoda geliştirilen protokol ile üretilen toplam paket miktarı.....	63
Şekil 4.2. İlk senaryoda AODV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı	63
Şekil 4.3. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı.....	64
Şekil 4.4. İlk senaryoda geliştirilen protokol ile düşürülen toplam paket miktarı ...	65
Şekil 4.5. İlk senaryoda AODV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı.....	66
Şekil 4.6. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı ...	66
Şekil 4.7. İlk senaryoda geliştirilen protokolün zaman göre ürettiği paket miktarı	67
Şekil 4.8. İlk senaryoda AODV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı ..	67
Şekil 4.9. İlk senaryoda AOMDV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı	68
Şekil 4.10. İlk senaryoda geliştirilen protokol ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı.....	68
Şekil 4.11. İlk senaryoda AODV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı	69
Şekil 4.12. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı.....	69
Şekil 4.13. İlk senaryoda geliştirilen protokolün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	70
Şekil 4.14. İlk senaryoda AODV protokolü ile gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	71
Şekil 4.15. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	71

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. İkinci senaryoda geliştirilen protokol ile üretilen toplam paket miktarı	72
Şekil 4.17. İkinci senaryoda AODV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı ...	73
Şekil 4.18. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı	73
Şekil 4.19. İkinci senaryoda geliştirilen protokol ile düşürülen toplam paket miktarı	74
Şekil 4.20. İkinci senaryoda AODV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı	74
Şekil 4.21. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı	75
Şekil 4.22. İkinci senaryoda geliştirilen protokolün zaman göre ürettiği paket miktarı	75
Şekil 4.23. İkinci senaryoda AODV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı	76
Şekil 4.24. İkinci senaryoda AOMDV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı.....	76
Şekil 4.25. İkinci senaryoda geliştirilen protokol ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı.....	77
Şekil 4.26. İkinci senaryoda AODV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı.....	77
Şekil 4.27. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı.....	78
Şekil 4.28. İkinci senaryoda geliştirilen protokolün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	78
Şekil 4.29. İkinci senaryoda AODV protokolünün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	79
Şekil 4.30. İkinci senaryoda AOMDV protokolünün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı	79

Şekil	Sayfa
Şekil 4.31. İki protokolün ilk senaryoya göre atılan toplam paket sayısının karşılaştırmalı grafiği	80
Şekil 4.32. İki protokolün ikinci senaryoya göre atılan toplam paket sayısının karşılaştırmalı grafiği	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

mbps

Milyon bit/saniye

s

Saniye

Kısaltmalar

Açıklama

ACK

Geri Bildirim Paketi

ADSRP

Ad-hoc On demand Scalable Routing Protocol

AODV

Ad-hoc On-demand Distance Vector

AOMDV

Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector

DARPA

Defense Advanced Research Projects Agency

ETX

Expected Transmission Count

ETT

Expected Transmission Time

FTP

File Transfer Protocol

IETF

Internet Engineering Task Force

IP

Internet Protocol

KÖA

Kablosuz Örgü Ağ

MANET

Mobile Ad-hoc Networks

NAM

Network Animator

OLSR

Optimized Link State Routing Protocol

RREQ

Rota İstek Paketi

RREP

Rota Cevap Paketi

TCP

Transmission Control Protocol

WMN

Wireless Mesh Network

1 . GİRİŞ

Veri iletişimi kavramının ortaya çıkmasıyla beraber, verinin taşınması için gerekli olan ortam ilk olarak kablo olduğu için geliştirilen yönlendirme protokolleride kablolu ağlar için geliştirilmiştir. Günümüzdeki internetin omurgasını halen kablolu ağlar oluşturmaktadır ve bunun değişmesi pek de mümkün gözükmemektedir. Bu yüzden kablolu ağlar için tasarlananan yüzlerce yönlendirme protokolü vardır. Bunlardan bazıları IETF tarafından standart haline getirilmiş ve yıllardır kullanılmaktadır. Bu protokollerden bazıları internet ortamında kendini kanıtlamıştır ve önümüzdeki yıllarda kullanımına devam edileceği tahmin edilmektedir. Kablosuz ortam üzerinden verinin aktarılmaya başlaması ile beraber, araştırmalar kablosuz ağlar üzerine yoğunlaşmış ve bu ağlar için yönlendirme protokolleri geliştirilmeye başlanmıştır. Kablosuz ağlar ile gelen yeniliklerden biri de hali hazırda bulunması gereken bir alt yapıya ihtiyaç duyulmaması ve iletişim için anlık alt yapının kendi kendine oluşturulabilmesidir.

Bununla birlikte, internet ve ağ teknolojilerinin hızlı gelişimi sonucunda günümüzde bir ağdan beklenen yeterlilikler geleneksel ağlar ile karşılanamayacak duruma gelmiştir. Buna paralel olarak, veri aktarımı için kablosuz ortamların kullanılmaya başlanması sonucunda bilgisayar ağlarının oluşturulması, kullanım amaçları ve kullanım alanları farklı bir boyut kazanmıştır. Afet kurtarma işlemlerinden, askeri bölgelerde verinin toplanıp iletilmesine kadar bir çok alanda kendine kullanım alanı bulmuştur. Ağ teknolojilerinde yaşanan bu gelişmeler sonucunda kablosuz örgü ağlar yeni bir ağ teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır.

Kablosuz örgü ağlar, ad-hoc ağlardan esinlenilerek ortaya çıkmıştır ve gelecek nesil kablosuz ağ teknolojileri içerisinde kilit role sahip olacağı tahmin edilmektedir. Ad-hoc ağların getirdiği kendi kendine anlık alt yapı oluşturabilme, ağ içerisindeki her düğümün hem yönlendirici hem alıcı olarak işlem yapabilmesi gibi yetenekler kablosuz örgü ağlar içinde mümkündür. Kablosuz örgü ağlar içerisinde bulunan hareketli düğümler arasında aslında bir ad-hoc ağ kurulur. Yani, ad-hoc ağlar kablosuz örgü ağların sadece bir kısmını oluşturur.

Kablosuz örgü ağlar son yıllarda ortaya çıkan yeni bir ağ teknolojisidir. Normal kablosuz ağlar ile karşılaştırıldığında kablosuz örgü ağlar; kendi kendine alt yapısını oluşturabilme, kendi kendini ayarlayabilme, yüksek derecede ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, kolay onarım gibi avantajlar sağlar. Sağladığı bu avantajlar sayesinde gelecek nesil kablosuz ağlar içerisinde önemli bir rol oynamasına imkan tanır [1]. Kablosuz örgü ağlar birbirleri ile iletişime geçebilen, kendisi dışındaki düğümlerinde paketlerini iletebilen kablosuz düğümler kümesidir. Kablosuz ad-hoc ağlarda olduğu gibi bir düğüm hem istemci hemde yönlendirici olabilir [2].

Kablosuz ağlar evlerde, ofislerde, üniversitelerde, endüstriyel ve ticari kuruluşlarda kendine kullanım alanı bulmasıyla bereaber bir çok kablosuz teknolojiyen faydalanma imkanı doğmuştur. Bu imkanlar kablosuz örgü ağların gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır [3]. Bir kablosuz örgü ağ uygulaması çok zor değildir. Çünkü, gerekli olan tüm unsurlar ad-hoc ağlar için geliştirilen yönlendirme protokollerinde zaten mevcuttur [4]. Literatürde hem hareketli ad hoc ağlar hemde kablosuz örgü ağlar için tasarlanan bir çok yönlendirme protokolü bulunmaktadır. Bu protokoller kablosuz ortamlar içerisindeki problemleri çözmeye yönelik olarak geliştirilmiştir.

Kablosuz örgü ağlar sadece sabit ya da sadece hareketli cihazlarla oluşturulabileceği gibi sabit ve hareketli cihazların beraber kullanılması ile de oluşturulabilir. Bir kablosuz örgü bulutu içerisinde örgü yönlendiriciler ve örgü istemciler bulunmaktadır. Örgü yönlendiriciler kablosuz örgü bulutu içerisinde omurga görevi görürler. Ayrıca bazıları farklı ağlara ya da internete geçişin yapılabilmesi için bir geçiş yolu olarak da kullanılırlar. Örgü yönlendiriciler genelde sabit olurken, örgü istemciler hareket edebilirler. Örgü istemcilere örnek olarak; dizüstü bilgisayarlar, hücresel telefonlar ve diğer kablosuz cihazlar verilebilir.

Kablosuz ağ arabirim kartına sahip dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, PDA'lar kablosuz örgü yönlendiricisine doğrudan bağlanabilir. Kablosuz ağ arabirime sahip olmayan kullanıcılar kablolu ağ kartlarını kullanarak örgü yönlendirici vasıtası ile kablosuz örgü ağına dahil olabilir. Bundan dolayı, kablosuz örgü ağlar kullanıcılara

herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda hem kablolu hem de kablosuz olarak sürekli çevrim içi olabilme imkanı sağlar [4]. Kablosuz erişim noktalarının kapsama alanlarını genişletmek için kablosuz örgü ağlar düşük maliyetli çözümler sağlayabilir [5].

Kablosuz örgü ağlar üzerinde barındırdığı bu yeteneklerden dolayı gelecek nesil kablosuz ağ teknolojileri için ortak bir kablosuz alt yapı oluşturabilir. Bu sayede tüm farklı ağ uygulamaları ve teknolojileri kablosuz örgü ağlar vasıtasıyla birbirlerine bağlanabilir ve iletişime geçebilir.

Kablosuz örgü ağların kullanım alanları ihtiyaçlara göre farklılık göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri askeri kuvvetleri operasyonlar sırasında bilgisayarlarını birbirleri ile haberleştirmek için kablosuz örgü ağ teknolojisini kullanmaktadır [6].

Kim ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Comparative analysis of link quality metrics and routing protocols for optimal route construction in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada KÖA içerisinde sondan sona bağlantı performansını etkileyen çeşitli yönlendirme protokollerinin analizini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [7]. OLSR ve AODV protokolünün zincir topolojisine benzer topolojilerde ETX ölçütünün kullanılması sonucunda en iyi olan rotayı seçemediği ve paket çarpışması gibi durumların oluşabildiğini göstermişlerdir [7]. Ayrıca, kablosuz bağlantı ölçütü ve yönlendirme protokolü tasarımının kablosuz örgü ağların performansına etkisini araştırmışlardır. Bilinen bağlantı metriklerinin (ETX ve ETT) sondan sona bağlantı performansına etkisini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

Zhao ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “An efficient Neighbourhood Load Routing metric for Wireless Mesh Networks” başlıklı çalışmada kablosuz bağlantı ölçütlerinin kablosuz örgü ağların performansına etkisini incelemişlerdir [8]. KÖA içerisinde kullanılan mevcut yönlendirme protokollerinin performansını daha fazla arttırmak için yeni bir ölçüt sunmuşlardır. Yazarlara göre, bir düğümün iletim alanı içerisinde bulunan bölgedeki yükü göz önünde bulunduran bir ölçüt yoktur. Bu yüzden bu durumu göz önünde bulunduran NLR yönlendirme ölçütünü

geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri ölçütün performansını literatürde mevcut olan sıçrama sayısı, ETX, yük hesabı ve SPP ölçütlerini, hem düzenli hem de düzensiz şekilde dağıtılmış düğümlerden oluşan kablosuz örgü ağları için karşılaştırmışlardır. NLR ölçütünün ortalama ağ verimliliği ve ortalama paket teslim etme oranının diğer mevcut ölçütlere oranla daha başarılı olduğunu, sondan sona gecikme miktarı göz önünde bulundurulduğunda ise sıçrama sayısının daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [8].

Jun ve Sichitiu 2008 yılında yaptıkları “MRP: Wireless mesh networks routing protocol” başlıklı çalışmada kablosuz örgü ağlar için bir yönlendirme protokolü geliştirmişlerdir [2]. Ağ ile ilgili olan ölçütleri hesaplamak için yeni bir metot ya da metrik sunmamışlardır. Yazarların sunduğu protokol olan MRP, rotaları bulmak için ağın tümüne paket yayılımı yapan ya da diğer protokollerin düzenlenip geliştirilmesi ile elde edilen bir protokol değildir. Tamamen yeni bir bağlantı durum tespiti yapan protokoldür. MRP protokolünün isteği bağlı MRP, işaret gönderimine dayalı MRP ve melez MRP olmak üzere üç farklı türevini geliştirmişlerdir. MRP protokolünün performansını değerlendirmek için farklı sınıflar içerisinde bilinen yönlendirme protokolleri ve geliştirdikleri MRP türevleri ile kıyaslamışlardır. Benzetim yaparken oluşturulan trafiğin %75’ini http %5’ini ise ftp paketleri içermektedir. Trafik yüküne göre kıyaslama yapıldığında en az yönlendirme yükü getiren, en çok paket teslim etme oranını sağlayan, en az sondan sona gecikme ve en az ortalama geçilen düğüm sayısı değerlerini yakalayan protokol MRP-H olmuştur. Ağ boyutu, ağ içerisindeki hareketli düğüm sayısı, örgü ağı iç trafiği, internet trafiği gibi durumlara göre kıyaslama yapıldığında da benzer sonuçlar almışlardır.

Kablosuz örgü ağlar için geliştirilen yönlendirme protokolü, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayabilmek için veri transferini en üst seviyede tutması, kaynak ile hedef arasındaki gecikme süresini en az seviyeye indirmesi gerekmektedir. Bundan dolayı Pal ve Nasipuri yaptıkları çalışmada, rota seçimini yapabilmek için yeni bir metrik ortaya atmışlardır [5]. Sunulan yeni metrik ağ içerisindeki kontrol paketlerinden daha çok, gerçek paketlerin iletilmesinin hesaplanması esasına dayanır.

Pal ve Nasipuri, bu metriğe dayanan yeni bir yönlendirme protokolü olan IDAR'ı sunmuşlardır. Sunulan yönlendirme protokolü veri transferini ve gecikme süresini en uygun seviyede tutmak için aday yönü seçerken gerekli olan parametreleri toplamak için tepkili rota keşfini kullanır. Yazarlar, IDAR'ın iki türü olan IDAR-v1 ve IDAR-v2'nin performansını geleneksel tepkili yönlendirme protokolü olan AODV ve kalite tabanlı bir yönlendirme yaklaşımı olan MARIA [9] ile kıyaslamışlardır. Akış miktarına göre paket teslim etme oranını karşılaştırdıklarında IDAR-v2 ve MARIA'nın birbirlerine yakın sonuçlar aldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, akış miktarına göre gecikme ve paket istikrarsızlığı kıyaslandığında IDAR-v2'nin diğerlerine oranla daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, AODV protokolü ile IDAR-v2'yi akış miktarına göre; paket teslim etme oranı, gecikme ve paket istikrarsızlığı durumlarında karşılaştırmışlardır. IDAR-v2'nin AODV'ye oranla etkili sonuçlar aldığını sunmuşlardır. Bununla beraber, AODV protokolü ile IDAR-v2'yi veri hızına göre; paket teslim etme oranı, gecikme ve paket istikrarsızlığı durumlarında karşılaştırmışlardır. Bir önceki durumda olduğu gibi IDAR-v2'den daha verimli sonuçlar almışlardır [5].

Öz organizeli ağlar için kullanılan yönlendirme protokolleri üzerinde barındırdığı özelliklerinden dolayı, melez KÖA ve istemci KÖA içerisinde yönlendirme protokolü olarak kullanılabilme imkanı bulabilir. Fakat bir melez KÖA içerisindeki örgü yönlendiricilerin karakteristik özelliği olan, birden fazla kablosuz arayüz bulundurması gerekliliği, öz organizeli ağ yönlendirme protokollerinin melez KÖA içerisinde kullanılma imkanını azaltmaktadır.

Pirzada ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları “Performance analysis of multi-radio AODV in hybrid wireless mesh networks” başlıklı çalışmada, bu sınırlılığı ortadan kaldırmak için, AODV protokolüne çoklu kablosuz arayüz ile yönlendirme yapabilme özelliği kazandırarak melez KÖA'lar için değerlendirmişlerdir. Yüksek oranda trafik yükü ve hareketlilik durumlarında etkili sonuçlar almışlardır [10]. Standart AODV, AODV-MR ve AODV-ST protokollerinin verimliliğini paket teslim etme oranı, protokol ek yükü, ortalama gecikme ve en iyi yol seçimi kriterlerine göre ölçmüşlerdir. Yaptıkları benzetim içerisinde dört farklı senaryo kullanmışlardır. İlk

olarak, hareketli örgü istemcilerin hızlarını değiştirerek belirttikleri 4 kritere göre değerlendirmişlerdir. Düğümler hareketli değilken AODV-ST, 20 m/s hıza sahip iken AODV-MR daha fazla paket teslim etme oranı yakalamıştır. Aynı şartlar altında protokol ek yükü en az standart AODV’de olmuştur. Ortalama gecikme kriterinde ise AODV-ST ve AODV-MR birbirine yakın sonuçlar almışlardır. Bunun dışında, Trafik yükünü arttırarak, paket büyüklüklerini arttırarak, AODV ve AODV-MR protokollerini kıyaslamışlardır. AODV-MR’nin ek protokol yükü dışındaki diğer kriterlerde AODV’ye oranla daha verimli olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, kablosuz ağ arayüz kartı sayısını arttırarak AODV-MR protokolünün verimliliğini 4 kritere göre ölçmüşlerdir. Arayüz sayısının artmasına doğru orantılı olarak protokolün verimliliği de artmıştır [10].

Pirzada ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları “SafeMesh: A wireless mesh network routing protocol for incident area communications” başlıklı çalışmada AODV protokolünün üzerinde değişiklikler yaparak SafeMesh isimli yeni bir protokol sunmuşlardır [11]. Standart AODV protokolüne; düğüm tipine göre yönlendirme yapabilme, çoklu bağlantı keşfi, kanal çeşidi ve yoğunluğunu göz önünde bulundurarak bağlantı seçimi, yerel bağlantı onarımı gibi özellikler eklemişlerdir. SafeMesh protokolünün performansını ölçmek için paket teslim etme oranı, protokol ek yükü ve ortalama gecikme durumlarını göz önünde bulundurarak genişletilmiş üç tane AODV protokolünü ve SafeMesh protokolünü 6 farklı senaryoya göre karşılaştırmışlardır.

Benzetim yaparken 1000×1000 metrelik bir alan içerisine düzenli olarak 5×5 metrede, sabit olan bir örgü yönlendiricisi ve benzetim alanı içerisinde rastgele hareket edebilen 50 tane örgü istemcisi yerleştirmişlerdir. İlk olarak örgü istemcilerin hızını 0 m/s’den 20 m/s’ye çıkartmışlardır ve ilgili protokollerin paket teslim etme oranını ölçmüşlerdir. 0 m/s’de AODV %77, AODV-ETT %84, AODV-WCETT %94 ve SafeMesh %100 başarı sağlamıştır. Hız 20 m/s getirildiğinde AODV %46, AODV-ETT %36, AODV-WCETT %55 ve SafeMesh %78 başarı sağlamıştır. Ayrıca, protokol ek yükü ve ortalama gecikme durumlarını değerlendirmişlerdir. İkinci senaryoda, akış miktarını 10’dan 50’ye arttırmışlardır. Üç ayrı durumda da

SafeMesh'in diğerlerine göre daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Bunun dışında, TCP bağlantı miktarı ve VoIP oturum sayısı miktarlarını arttırarak test etmişlerdir. Örgü yönlendiricilerinin sayısını, üzerlerindeki radyo sayısını arttırarak yine üç ayrı durumda kıyaslama yapmışlardır ve SafeMesh protokolünden diğerlerine oranla daha verimli sonuçlar almışlardır [11].

Kablosuz örgü ağlarda çoklu kanal kullanımı ile ağın toplam verimliliği artırılabilir. Bu yüzden, çoklu kanal kullanımı için geliştirilen birçok MAC protokolü literatürde mevcuttur. Kablosuz örgü ağlarda veri paketlerinin iletimi için ayrı bir kanal, yönlendirme ve ortam denetimi paketleri için ayrı bir kanallın atanması (DDC) ile çoklu kanal kullanımı durumunda oluşacak problemler azaltılabilir. Bununla beraber, ortak denetim kanalı toplam performansın dar boğaza girmesine neden olacaktır. Ayrıca, veri kanallarının seçiminin ağın toplam verimliliğine doğrudan etkisi vardır [12].

Jeng ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Release-time-based multi-channel MAC protocol for wireless mesh networks” başlıklı çalışmada, RTBM olarak adlandırdıkları çoklu kanal kullanımı için yeni bir MAC protokolü sunmuşlardır. Geliştirdikleri protokol ile DDC yaklaşımında veri kanalı seçme problemleri ve denetim kanalındaki tıkanıklık problemini çözmeyi amaçlamışlardır [12]. RTBM protokolünün 3 farklı türevini RTBM(CIP), RTBM(CIP+DDC), RTBM(CIP+DDC+ECS) geliştirerek, her bir bileşenin performansa ne oranda etki ettiğini değerlendirmişlerdir. RTBM türevlerini 802.11, DCA ve MCMAC yaklaşımlarıyla hem tek sıçramalı hem de çok sıçramalı durumlarda hem veri kanalı sayısını arttırarak, hem de akış miktarını arttırarak ağın toplam verimliliğini ölçmüşlerdir. RTBM türevlerinin diğerlerine oranla daha başarılı sonuçlar aldığını göstermişlerdir [12].

Galvez ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları “Responsive on-line gateway load-balancing for wireless mesh networks” başlıklı çalışmada, içerisinde birden fazla geçit yolu bulunan KÖA için çevrim içi yük dengelemeye yapabilen bir protokol sunmuşlardır. Trafik TCP protokolünün çalıştığı katmanda iken dengelemişlerdir.

GWLB olarak adlandırdıkları yaklaşım, ağa fazladan herhangi bir yük getirmeden ve o anki trafik durumunda bir aksaklık yaşatmadan geçit yolunun ayarlanması konusunda oldukça duyarlıdır. Yazarlar, GWLB protokolünün performansını değerlendirmek için benzetim kullanarak bazı mevcut yaklaşımlar ile kıyaslamışlardır. GWLB'nin diğerlerine oranla daha etkili olduğunu görmüşlerdir [13].

KÖA'lar için mevcut bulunan yönlendirme protokolleri genellikle kesin olmayan kablosuz bağlantıları göz önünde bulundurmadan sayısal bağlantı ölçümleri ile en iyileme yapar. KÖA içerisinde sahte-belirleyici bir yönlendirme protokolü ile PHY ve MAC katmanında geçici kesin olmayan bağlantı durumları gibi tüm olası durumlar detaylıca incelenebilir [14].

Chen ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Probing-based anypath forwarding routing algorithms in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada dinamik olarak bir sonraki seçilecek düğümün düşük maliyet ve en az iletim gecikmesi ile nasıl sağlanacağını araştırmışlardır. Durdurma teorisi denilen bir çözüm sunmuşlardır. Farklı ağ biçimleri altında ST ve SRCTP algoritmalarının etkinliğini doğrulamak için benzetim kullanmışlardır. EXOR ve HWMP protokolleri ile kıyasladıklarında sunulan yaklaşımın ağ verimliliği ve paket gönderim düzeni ölçütlerinde başarılı sonuçlar aldığı görülmüştür [14].

Kablosuz sistemlerde ve çoklu ortam uygulamalarında yaşanan gelişmeler sonucunda, KÖA'larda kullanılacak olan yönlendirme protokollerine yeni bir bakış açısıyla yaklaşılması gerekmektedir. Bu protokollerin hem QoS için en az gerekliliği hem de çoklu ortam uygulamaları için gerekli QoE desteği sağlaması gerekmektedir. Bu şartlarda, farklı tipte paketlerin yönlendirilmesi için sadece bir tane bağlantı kalite metriğinin kullanımı uygun QoS için yeterli değildir [15].

Gomes ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Using fuzzy link cost and dynamic choice of link quality metrics to achieve QoS and QoE in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada KÖA yönlendirme protokolü olan OLSR üzerinde çoklu ortam

uygulamalarının gerekliliklerini sağlayacak şekilde değişiklikler yaparak bir türevini OLSR-FLC sunmuşlardır. Metriklerin dinamik olarak seçimini yapabilmek amacıyla çoklu ortam paketleri iletilirken en iyi rotaları belirlemek için bulanık bağlantı maliyetini (FLC) temel almışlardır. Sunulan FLC metriği, yeni bir metrik tanımlamak için iki tane kalite metriğini (ETX, MD) kullanan bulanık bir sistemi esas alır. Sunulan metriğin performansını ölçmek için asıl OLSR ve OLSR'nin şu an ki sürümlerini (OLSR-ETX, OLSR-MD, OLSR-DC), farklı QoS metriklerini kullanarak kıyaslamışlardır. Kullanıcılar tarafından alınan görüntü kalitesinin daha yüksek olduğunu göstermişlerdir [15].

Kablosuz örgü ağların tasarımında dikkate alınması gereken en temel şeylerden biri de iletişim için kullanılan yolların kullanılabilirliği ve güvenilirliğidir. Güvenilirlik, yayılım maliyeti ve ağ topolojisinin kararlılığı KÖA'lar için önemlidir. Yani, eklenen yedek ağ bileşenleri bir ağın güvenilirliğini artırırken bu durum büyük oranda maliyeti de artırır. Genellikle, ağ performansı ve güvenilirlik ayrı ayrı dikkate alınır [16].

Benyamina ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “On the design of reliable wireless mesh network infrastructure with QoS constraints” başlıklı çalışmada güvenilir bir KÖA oluşturulması için ağdaki bozulmaları anlayabilen yeni bir algoritma sunmuşlardır. Ağ yayılım maliyeti, performans ve güvenilirlik arasındaki bu sıkıntıyı aşabilmek için trafik yük dengelemesi ve maliyet açısından aynı anda en iyileme yapabilen bir model sunmuşlardır [16].

Amaldi ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları “Optimization models and methods for planning wireless mesh networks” başlıklı çalışmada kablosuz örgü ağ içinde bulunan kablosuz istemcilere tam bir kapsama alanı sağlarken, aynı anda kurulum maliyetini de en aza indirebilen bir kablosuz ağ tasarımı yapabilmek için yeni bir en iyileme modeli sunmuşlardır [17]. Yazarların sunduğu karmaşık sayılar ile lineer programlama modeli, örgü yönlendiricilerinin ve erişim noktalarının miktarını ve bulunması gereken yeri seçmeye imkan tanır. Gerçek ortamlardakine benzer oranlarda düğüm içeren KÖA kümesi için üç tane problemin en iyi çözümlerini

sunmuşlardır. Ayrıca, ilgili ağdaki farklı parametrelerin her birinin etkilerini tartışmışlardır. Tasarlanan ağın kalitesini farklı trafik koşulları altında benzetim kullanarak değerlendirmişlerdir [17].

Kablosuz örgü ağlarda geniş yayın kullanımı, literatürde genel kabul gören önemli bir iletişimdir. Ağ içerisindeki her düğümün doğru ve eksiksiz şekilde bilgiye almasını sağlamak için güvenli bir geniş yayına ihtiyaç duyar. Güvenilir olmayan kablosuz bağlantıların olduğu KÖA’da güvenilir geniş yayın yapılmasındaki temel amaç, her düğümün geniş yayın ile gönderilen paketlerin tümünü doğru bir şekilde, en az gecikme ile alabilmesini sağlamaktır. Son yıllarda, ağ kodlama, bir kaynaktan çok hedefe doğru yapılan iletişimin etkinliğini sağlamak açısından ele alındığında öncü bir kodlama yaklaşımı olarak ortaya çıkmıştır [18].

Yang ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “R-Code: Network coding-based reliable broadcast in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada geniş yayın protokolünü temel alan bir ağ kodlama yaklaşımı ortaya atmışlardır. R-Code olarak adlandırdıkları yaklaşım ile %100 oranında paket teslim etme başarısı sağlarken, iletim ek yükünü ve geniş yayın gecikmesini önemli ölçüde azaltmışlardır [18].

KÖA’lar büyük ölçekli kablosuz internet erişimini sağlayabilecek uygun maliyetli çözümler sunan etkin bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. KÖA içerisinde hücreler arası geçiş yönetimi hareketli kullanıcılara etkili bir QoS hizmeti sunması açısından önemli bir role sahiptir. Bundan dolayı, KÖA’larda hücreler arası geçiş performansının analizi ağ mühendisleri ve araştırmacılarının dikkate alması gereken bir durumdur [19].

Zhao ve Xie 2011 yılında yaptıkları “OPNET-based modeling and simulation study on handoffs in Internet-based infrastructure wireless mesh networks” başlıklı çalışmada KÖA alt yapısı ile internet erişimi sağlamak için gerekli olan hususları ve ağ topolojilerini içeren detaylı bir benzetim modeli sunmuşlardır. KÖA içinde belirli tasarım sıkıntılarını dikkate alarak iki tane hücreler arası geçiş tasarımını benzetim kullanarak modellemişlerdir. Uygulanan benzetim modeli, aynı ve farklı ağlardaki

geçit noktaları arasında etkili şekilde hücreler arası geçişin yapıldığını göstermiştir [19].

Birçok düğüm üzerinden sıçrayarak paketlerin taşınmasını sağlayan kablosuz örgü ağlar içerisindeki yönlendirme protokolleri, algoritmalar ve metrikler önemli rol oynar. Kablosuz örgü ağ içerisinde birçok düğüm aynı bandı paylaşır. Bundan dolayı bağlantı üzerinde parazit oluşabilir. Borges ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “The impact of interference-aware routing metrics on video streaming in Wireless Mesh Networks” başlıklı çalışmada parazitlerin ağın performansını önemli ölçüde etkilediğini söylemişlerdir. Bu yüzden parazitlenmeden haberdar olabilen yönlendirme metriklerini önermişlerdir. Kablosuz örgü ağlar çoklu ortam uygulamaları için yüksek kalitede hizmet sağlayabilme yeteneğine sahiptir. Video ve diğer çoklu ortam uygulamaları için bu yönlendirme metrikleri önemlidir. Bundan dolayı, parazitlenmeden haberdar olan yönlendirme metriklerinin video akış performansı üzerindeki etkisini gösterebilmek için diğer metrikler ile kıyaslamışlardır [20].

Benzetimde kullanılan her bir düğüm aynı fiziksel donanıma sahiptir. Her bir düğümün iki tane kanalı ve iki tane ağ arayüz kartı vardır. Elde edilen sonuçların daha doğru olmasını sağlamak için, farklı düğüm yerleşimleriyle senaryo 10 kez çalıştırılmıştır. Benzetimde ortalama 256 kb/s’de kararsız bit oranı ile görüntü aktarımına yoğunlaşmıştır. Yazarlar, benzetimde üç farklı senaryo oluşturmuşlardır. İlk olarak dış ortamlarda yönlendirme ölçütlerinin ağın performansına etkisini karşılaştırmışlardır. 5 farklı yönlendirme ölçütünü; düğümlerin kapsama alanına göre ortalama akış durumu, gecikme, paket istikrarsızlığı ve protokolün getirdiği ek yükü değerlendirmişlerdir. İkinci senaryoda, iç ortamlarda 5 farklı yönlendirme ölçütünü; kapsama alanına göre ilk senaryodakine benzer durumlar için değerlendirmişlerdir. Her iki senaryoda da MIND metriğinin diğer 4 yönlendirme metriğine oranla daha başarılı bulmuşlardır. Son senaryoda 5 tane yönlendirme ölçütünü artan trafik yükü altında, akış durumu, gecikme, paket istikrarsızlığı, protokol ek yükü gibi ölçütler ile karşılaştırmışlardır. MIND metriğinin trafik yükünün arttığı durumlarda diğer metriklerle oranla daha başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir [20].

Genellikle kablosuz örgü ağlar, ağ kapasitesini arttırmak için birden fazla radyo arayüzü ile donatılan örgü yönlendiricilerinden oluşur. En az parazitlenme ile KÖA oluşturabilmek için en önemli etken, her bir radyo arayüzüne farklı bir kanal atamaktır. Kanal atamada işleminde bir örgü yönlendiricisi üzerinde bulunan bir arayüze atanabilecek farklı sayıda kanal kısıtlamasına uyulmalıdır [21].

Riggio ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Interference and traffic aware channel assignment in WiFi-based wireless mesh networks” başlıklı çalışmada çok radyolu KÖA için parazitlenme ve ağ yoğunluğuna göre kanal atama (ITICA) yapmaya yönelik melez bir yaklaşım sunmuşlardır. ITICA, yönlendirilen trafik sonucu oluşan ölçeklenebilme sorunları için geliştirilen bir yaklaşımdır. Sunulan çözüm hem benzetim yoluyla hem de gerçek ortamlarda sınanarak değerlendirilmiş ve geliştirdikleri yaklaşımı durağan rastgele kanal atama yaklaşımı BFS ile kıyaslamışlardır. Parazitlenmenin etki ettiği zaman süresince ITICA yaklaşımının BFS’ye oranla yaklaşık %40 civarında daha verimli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [21].

Caillouet ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Optimization Framework for optimizing the capacity of wireless mesh networks” başlıklı çalışmada internete erişim için kullanılan kablosuz örgü ağların iletim kapasitesi hesaplama problemlerini araştırmışlardır. Yönlendirme ve iletim yaklaşımları, istemcilere sunulan kapasitenin üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Verilen bir KÖA’ı içinde geçit yollarının yerleştirilmesi, yönlendirme ve düzenleme için genel bir sayısal lineer programlama tanımı sunmuşlardır. Yönlendirme sırasında QoS’un gerekliliklerini göz önünde bulunduran ve radyo parazitlenme sorunlarını içine alan yeni bir en iyileme metodu geliştirmişlerdir. Gerçek ortamlardaki büyüklükte KÖA’lar için etkin çözüm metotları geliştirmişlerdir [22].

KÖA içerisinde bulunan örgü yönlendiriciler ve örgü istemciler birden fazla kanal üzerinden yayın yaparak paket gönderimi yapabilme yeteneğine sahiptir. KÖA’ları öz organize ağlardan ayıran en önemli fark budur. İletişim için çoklu kanal

kullanabilme yeteneği KÖA'lara yüksek oranda veri iletimi imkanı sağlamasına karşın, iletişim için kanal atama problemini de beraberinde getirmiştir.

Crichigno ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları “Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada, tek radyo ile çoklu kanal ve çoklu radyo ile çoklu kanal kullanımı durumunda karşılaşılan çoklu kanal gizli bağlantı, sağırılık, kanal kördüğümü gibi problemleri incelemişlerdir [23].

Örgü düğümler üzerinde bulunan radyolar genellikle çok yönlüdür. Bir radyo ile yapılan iletişim, kapsama alanı içerisinde bulunan diğer düğümler tarafından fark edilecektir. Bağlantı yönetim algoritmaları kablolu ağlar ve tek yönlü kablosuz ağlar için kullanıldığında problem olmamasına rağmen, çok yönlü radyolar ile kablosuz iletişimde bağlantı yönetim algoritmaları problem çıkartmaktadır. Kablosuz örgü ağlarda genellikle çok yönlü radyolar kullanılmaktadır. Bundan dolayı, bağlantı yönetimi kullanılarak topoloji korunumu ile kanal atama yaklaşımı kablosuz ağlar için uygun değildir [24].

Cheng ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Nodes organization for channel assignment with topology preservation in multi-radio wireless mesh networks” başlıklı çalışmada, mevcut kanallara göre düğümleri ayarlayarak kanal atama sorunlarına çözüm bulmayı amaçlamışlardır. Kablosuz örgü ağlarda topoloji korunumu ile kanal atama yaklaşımı için düğüm yönetiminin kullanımına öncülük eden bir yaklaşım olmuştur. Kanal atama probleminin NP-hard bir problem olduğu kanıtlanmıştır ve polinom zamanı içerisinde en iyi çözümü bulmak mümkündür. Cheng ve arkadaşları, DPSO-CA olarak isimlendirdikleri ayrık parçacık sürüsü optimizasyonuna dayanan bir kanal atama algoritması formüle etmişlerdir. Yazarlar, düzgün yük dağılımının olduğu ağlar için bir algoritma tasarımlarına rağmen, dengesiz yük dağılımının olduğu ağlar için bu algoritmanın genişletilebileceğini göstermişlerdir. Kanal atama problemlerinde radyo kullanımını, çift kanal etkileşiminin etkilerini ve ağ verimliliğini detaylı şekilde incelemişlerdir [24].

Cheng ve arkadaşları geliştirdikleri kanal atama algoritmasının verimliliğini değerlendirmek için literatürde mevcut bulunan CTBA [25], IATC [26] ve CCA-M [27] kanal atama algoritmaları ile kıyaslamışlardır. Düğümler üzerindeki radyo sayısı arttırılarak olumsuz ağ etkileşim durumunu ölçmüşlerdir. DPSO-CA'nın diğer iki algoritmaya göre daha az olumsuz ağ etkileşimi sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, radyo miktarının ağın toplam performansına etkisini benzetim ile ölçmüşlerdir. 25 tane düğümün bulunduğu KÖA kümesinde, 2 radyo kullanılması durumunda DPSO-CA ve CCA-M'nin diğer iki algoritmaya oranla daha başarılı olduğu, 4 ile 10 tane arasında radyo kullanımı durumunda DPSO-CA'nın diğerlerine göre daha etkili sonuçlar aldığını göstermişlerdir. Bununla beraber, 12 ve 3 tane radyo kullanımında tüm algoritmaların eşit derecede verimli olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. 50 tane düğümün bulunduğu KÖA kümesinde ise öncekine benzer sonuçlar almışlardır. Ayrıca, 25 düğümlü 12 radyolu KÖA'larda ağ verimliliği ile olumsuz ağ etkileşimi için kullanılacak en uygun radyo miktarını bulmaya çalışmışlardır. 25 tane düğümün olduğu kümelerde 5 tane radyo kullanımının en uygun olduğunu, bu durumun 50 tane düğümün bulunduğu KÖA için 25 düğümlü kümede olduğu kadar etkili olmasa da, benzer sonuca ulaşmışlardır [24].

Rad ve Wong 2009 yılında yaptıkları "Congestion-aware channel assignment for multi-channel wireless mesh networks" başlıklı çalışmada kablosuz örgü ağlarda çoklu kanal atama için tıkanıklığı dikkate alan DCACA olarak adlandırdıkları bir kanal atama algoritması geliştirmişlerdir [28]. KÖA'nın toplam performansı çoklu kanal kullanılarak arttırılabilir. Verimli bir şekilde kanalların atanması komşu düğümler arası iletişimde meydana gelecek olumsuz etkileşimi azaltmak açısından çok önemlidir. Yazarlar geliştirdikleri algoritma ile Load-Aware [29] algoritmasını ve tek kanal kullanımının performanslarını benzetim yolu ile kıyaslamışlardır. TCP kaynaklı trafik kullanarak 10 farklı topoloji için toplam ağ verimliliği ve paket iletim zamanı ölçütlerini ağ performansını ölçmek için karşılaştırmışlardır. 10 topolojinin her birinde DCACA algoritmasının diğerlerine oranla daha verimli olduğunu göstermişlerdir [28].

Marina ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları “A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks” başlıklı çalışmada çok radyolu KÖA’larda etkin kanal kullanımını sağlamak için radyo arayüzlerine kanal atanması ile oluşan kanal atama problemlerini değerlendirmişlerdir. Yeni bir topoloji kontrol yaklaşımını temel alarak kanal atama formül teorisi sunmuşlardır. CLICA olarak adlandırdıkları yeni bir sezgisel kanal atama algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar, CLICA kanal atama algoritmasını, ağda bulunan düğümler üzerindeki radyo sayılarını arttırarak literatürde mevcut bulunan CCA kanal atama algoritması ve her düğümden tek bir kanal kullanım durumunu kıyaslamışlardır. Aynı sayıda radyo kullanıldığında CLICA yaklaşımının CCA’ya oranla çok daha etkili olduğunu, CLICA’da 3, CCA’da 12 radyo kullanılması durumunda bile CLICA’nın CCA’ya göre ortalama paket gecikme değerinin daha iyi olduğunu göstermişlerdir [30].

Ortak kanal atama ve yönlendirme çoklu radyo ve kanallı kablosuz örgü ağlarda hala ciddi bir sorundur. Bu sorunu çözmeye yönelik bir takım yaklaşımlar literatürde mevcut olsa bile, yüksek oranda trafik yükünün olduğu durumlarda çok fazla ek yük getirmeden ağ performansı açısından en iyi çözümün nasıl sağlanacağı hala cevap verilemeyen bir sorudur. Wellons ve Xue 2011 yılında yaptıkları “The robust joint solution for channel assignment and routing for wireless mesh networks with time partitioning” başlıklı çalışmada KÖA’lar için RCART olarak adlandırdıkları yeni bir çözüm sunmuşlardır. Yazarlar RCART çözümünde kanal atama ve yönlendirme sırasında ek bir denetim değişkeni olarak zaman paylaşımını kullanmaları sonucu ortalama performansı önemli ölçüde arttırmışlardır. RCART’ın verimliliğini gerçek trafik kullanarak değerlendirmişlerdir. Sunulan çözümün zaman paylaşımı olmadan yapılan mevcut çalışmalara oranla daha etkili sonuçlar aldığını göstermişlerdir [31].

Kablosuz örgü ağlar kullanıcılara geniş bantlı internet erişimi sağlayan olağanüstü teknolojilerden biri olarak görülür. 802.11 PHY ve MAC, çoklu kanal ve hızlı iletişim kapasitesini destekler. Bununla birlikte, mevcutta var olan kanalları ve veri hızlarını etkili bir şekilde kullanabilecek kanal atama protokolünün tasarımı ağ performansının azalmasını engelleyen önemli bir konudur. Hızlı iletişimli kablosuz

ağlarda mevcut bulunan düşük hızlı bağlantılar ciddi problemlere neden olabilir. Bu problem genellikle anormal performans olarak adlandırılır [32].

Kim ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “A Cooperative Channel Assignment protocol for multi-channel multi-rate wireless mesh networks” başlıklı çalışmada çoklu kanal ve hızlı iletişim sağlayan KÖA için anormal performans problemlerini dikkate alan ortaklaşa kanal atama (CoCA) olarak adlandırdıkları bir protokol tasarlamışlardır. CoCA protokolü tahmini teslim zamanı (EDT) metriği ve dengeleme algoritmasından yararlanır. Yazarlar, EDT metriğini kullanarak, çoklu kanal çoklu sıçrama yollarını (MMPs) biçimlendirerek kanal atama yapmışlardır ve mevcut kanallar içerisindeki yüksek hız oranına sahip olanları, düşük hız oranına sahip olanlardan ayırmışlardır. Ayrıca, CoCA anormal performans problemini dikkate alır ve kanal atama sırasında bir dengeleme algoritması kullanır.

Kim ve arkadaşları CoCA’nın performansını benzetim yolu ile değerlendirmişlerdir. KÖA’larda mevcut bulunan kanal atama protokollerinden daha etkili sonuçlar almışlardır. Yazarlar, CoCA’nın performansını ölçmek için literatürdeki çoklu kanal protokolleri Hyacinth [29] ve ICA [33] ile karşılaştırmışlardır. Ağ içerisindeki yönlendiricilerin sayısını arttırarak bu üç protokolün paket teslim etme oranı, sondan sona gecikme ve ortalama verimlilik ölçütleri ile kıyaslamaları sonucu COCA’nın diğerlerine oranla oldukça başarılı olduğunu göstermişlerdir [32].

Kablosuz örgü ağlar son yıllarda düşük maliyet ve kolay yayılım gibi kendisine özgü özelliklerden dolayı oldukça ilgi görmektedir. Bu ağlarda en uygun yönlendirme, bağlantı kapasitesine bağlıdır. Ağ kapasitesini ve verimliliğini arttırmak için, bu ağlarda çoklu kanal ve çoklu arayüzün kullanılması literatürde sunulmaktadır. Fakat parazitlenmenin olması bu tip ağlarda kanal atama ve bağlantı kullanımını kısıtlar [34].

Kumar ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Capacity and interference aware link scheduling with channel assignment in wireless mesh networks” başlıklı çalışmada KÖA’nın toplam kapasitesini ve verimliliğini arttırmak amacıyla bağlantı düzenleme

ve kanal atama (CA) üzerine yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Kanal atama ve bağlantı düzenleneme problemini lineer programlama problemi olarak formüle etmişlerdir. Sunulan algoritmada kısaca, bağlantılar sıralanır ve her bağlantı metrik maliyetine (LCM) göre belirli bir grup içerisine yerleştirilir. LCM değeri bağlantıları bir arada gruplamak için kullanılır. Sonra, bu bağlantılar için kanal atama yapılır. Benzetim sonuçları sunulan yaklaşımın paket teslim etme oranı, sonradan gecikme, ortalama verimlilik, paket kayıp oranı ölçütlerine göre değerlendirildiğinde önceki yaklaşımlara SRSC ve MCMR [35] oranla daha verimli olduğunu göstermiştir [34].

Martignon ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları “Design and implementation of MobiSEC: A complete security architecture for wireless mesh networks” başlıklı çalışmada kablosuz örgü ağlar içerisinde örgü yönlendirici ve istemciler için erişim denetimi sağlayan MobiSec olarak adlandırdıkları bir güvenlik mimarisi sunmuşlardır [36].

MobiSec mimarisinde anahtar etmen KÖA içerisinde oluşacak tüm trafiğin veri gizliliğini ve güvenliğini garantiye almak için 2. katmanda şifreleme desteği sunmasıdır. Güvenliği sağlamak için hem komşu düğümlere kimlik bilgileri sunan hem de kablosuz omurga bağlantılarda iletilen tüm trafiği şifreleyen geçici bir anahtar kullanılır. Martignon ve arkadaşları KÖA’lar için uygun hale getirdikleri birbirinin türevi olan sunucu ve istemci sürücü olarak adlandırdıkları iki tane protokol sunmuşlardır. Sunucu sürümlü protokolda tüm örgü yönlendiricileri periyodik olarak merkezi bir sunucuya yeni anahtar kelimeyi almak için istek gönderirken, istemci sürücü protokolda örgü yönlendiriciler sunucudan bir kök kelime alırlar ve bir karıştırma algoritmasıyla şifrelenmiş anahtar kelimeler elde eder. Yazarlar, sundukları iki algoritmayı, durağan anahtar kelime kullanımı ve standart IpSec algoritmasıyla kurulan TCP oturum miktarı ve anahtar kelimenin aşım süresine göre kıyaslamışlardır. Yaptıkları tüm benzetim sonuçlarında bir oturum içerisinde kullanılan anahtar kelimelerin sayısının seçiminin paket kaybı gibi bir olumsuzluğa neden olmadığını, ağ performansına göz ardı edilebilecek bir etkide bulunarak KÖA’da güvenliği oldukça arttırdıklarını söylemişlerdir [36].

KÖA diğer iletişim teknolojilerine bir alt yapı hizmeti sunduğundan dolayı, KÖA’ da bulunan birçok güvenlik açığı, hem örgü ağın kendi içerisinde hem de ağın dışarısından bir takım ataklara maruz kalabilir. Muogilim ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Wireless mesh network security: A traffic engineering management approach” başlıklı çalışmada KÖA içerisindeki güvenlik açıklarını ve saldırı türlerini katmanları baz alarak sınıflandırmışlardır. Ayrıca, KÖA daki bu ataklara karşı mevcut bulunan güvenlik önlemlerini sunmuşlar ve mevcut bulunan 802.11i, MPLS, MPLS VPN, MPLS VPN IPsec protokollerini KÖA’lar için bazı ağ performans ölçütlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Trafik yükü arttıkça ağı en az yük getiren, sondan sona en az geçişme sağlayan protokolün MPLS VPN IPsec olduğunu, ortalama geçilen düğüm sayısı arttıkça en çok paket teslim eden protokolün de MPLS VPN IPsec olduğu sonucuna benzetim yolu ile ulaşmışlardır. Ayrıca KÖA içerisinde Ddos ataklara karşı en etkili olan protokolün MPLS VPN IPsec olduğunu göstermişlerdir [37].

Kablosuz örgü ağlarda etkili bir çoklu yayın yönlendirme metriğinin olması çoklu iletişim sırasında kritik bir role sahiptir. Mevcut olan tekli yayın yönlendirme metrikleri çoklu yayın işlemi için kullanıldığında yeteri kadar etkili olamaz. Bundan dolayı çoklu yayın iletişim yapısına özel yönlendirme metriklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Pourfakhar ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları “A hybrid QoS multicast framework-based protocol for wireless mesh networks” başlıklı çalışmada bir düğümün bağlantısının kopma ihtimalini veya kullanacağı rotayı tahmin etmek için CMAC sinir ağı modelini kullanmışlardır. Bu tahmin hata oluşmadan önce ağı kurtarmayı hedefler. KÖA’daki yük dengeleme problemini ve internet istemcileri ile örgü istemcileri arasında dinamik olarak çoklu yayın iletişimi sırasında QoS arttırmak için yeni bir QoS çoklu yayın yönlendirme taslağı sunmuşlardır. Bu taslağı dayanarak bir sonraki nesil olan 802.11s içerisinde problemlere karşı tedarikli olan HMFPM olarak adlandırdıkları melez bir çoklu yayın protokolü sunmuşlardır [38].

Pourfakhar ve arkadaşları tasarladıkları protokolün proaktif ve reaktif protokoller içerisinde çoklu yayın yönlendirmesi yaparken gereksiz olan gecikmeyi yok edebilecek şekilde olduğunu ve geçit yolları arasında dengeleme yapmak için çoklu geçit yolu kullanabilme imkanı sunduğunu ifade etmişlerdir. Sundukları HMFPM protokolünün ölçeklenebilirliğini ve performansını ODMRP [39] ve MNT [40] protokolleri ile farklı senaryolar içerisinde kıyaslamışlardır. Kıyaslama yaparken paket teslim etme oranı, ortalama yayılım, ortalama sondan sona gecikme, çoklu yayın ek yük kriterlerini ve çoklu yayın trafiğinin paket teslim oranına etkisini ölçmüşlerdir. Benzetimde 20 ve 50 tane alıcıdan oluşan düğüm kümeleri kullanmışlardır. Hem 20 hem de 50 tane alıcı düğümün olduğu durumlarda yukarıdaki kriterlere göre değerlendirdiklerinde en verimli sonucu geliştirdikleri HMFPM protokolünden almışlardır [38].

Li ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları “Load-aware multicast routing metrics in multi-radio multi-channel wireless mesh networks” başlıklı çalışmada çoklu kanal ve çoklu radyo kullanılan kablosuz örgü ağlar için çoklu yayın yönlendirme metriklerini araştırmışlardır. *FLMM* ve *FLMM^R* olarak adlandırdıkları yük durumunu göz önünde bulunduran iki tane çoklu yayın yönlendirme metriği sunmuşlardır. *FLMM* daha az parazitlenme yapan çoklu yayın rotalarını bulmayı amaçlar. *FLMM*, hem bant genişliği ile hem de ağın etkin kullanımını arttırmak için kanal çeşitliliğinden faydalanır [41].

Li ve arkadaşları, *FLMM* ve *FLMM^R* metriklerini standart çoklu yayın yönlendirme protokolü olan MAODV protokolü içinde metrik olarak kullanmışlardır. *FLMM* ve *FLMM^R* metriklerinin performansını ölçmek için HOP ve SPP metrikleri ile kıyaslamışlardır. Tüm metriklerin performanslarını, ağ verimliliği ve paket teslim etme oranını dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Ağ içerisinde çoklu yayın yükünü arttırdıklarında, HOP ve SPP’nin paket teslim etme oranının hızla düştüğü *FLMM* ve *FLMM^R*’de düşüş oranının çok daha az olduğunu göstermişlerdir. Tek birçoklu yayın grubu kullandıklarında, SPP ve *FLMM^R* %10’un altında paket düşürürken, *FLMM* %17 oranında paket düşürdüğünü göstermişlerdir. Ancak, çoklu yayın grup sayısını

9'a çıkarttıklarında *FLMM* ve *FLMM^R* 'de %25 civarında paket kaybı olurken, SPP ve HOP'da paket kaybı oranı yaklaşık %50 civarında olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kullanılan kanal sayısının artırılması sonucu tüm protokollerde ortalama ağ verimliliğinde ciddi düşüş yaşandığı görülmüştür [41].

IEEE 802.11 cihazları veri iletimi yapabilmek için farklı bit hızları ve ayarlama yaklaşımları arasından birini dinamik olarak seçer. Bu hız oranı, sadece bir gönderici ve bir alıcı arasındaki iletişim için uygun olur. Çoklu ve geniş yayınlı iletişimde sabit bit hızlı ayarın kullanımı çoklu yayın akışında verimliliği azaltan mecburi bir durumdur. Özellikle çok sıçramalı örgü ağlarda, bant genişliğinin etkin kullanılabilmesi IPTV gibi çoklu ortam çoklu yayın uygulamalarını desteklemek açısından oldukça önemlidir [42].

Acharya ve Belding 2011 yılında yaptıkları "MARS: Link-layer rate selection for multicast transmissions in wireless mesh networks" başlıklı çalışmada örgü ağlarda çoklu yayın iletişimi için MARS olarak adlandırdıkları bir hız ayarlama algoritması sunmuşlardır. Sunulan algoritma verilen bir çoklu yayın grubu için uygun iletim hızını seçmek amacıyla yerel ağa ölçümü yapmaya dayanır. Sunulan algoritma ayrıca ortak bir hız oranı ve veri bağlantı mekanizması belirlemeyi kolaylaştırır. Sunulan algoritma geleneksel 802.11 ağları ile kıyaslandığında %600 verimlilik sağlamıştır. Ayrıca, sunulan algoritma temel 802.11 işlemleri ile karşılaştırıldığında %20 oranında kaynak tüketimi yaparak, çoklu yayın akışını destekleyebilir [42].

Kharraz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ODMRP protokolünün çoklu yayın etkinliğini ve performansını arttırmak için yeni bir etkin rota bulma protokolü geliştirmişler. Geliştirilen protokolü sınırlı paket taşıma ODMRP olarak adlandırmışlardır. Çoklu yayın grubuna katılan düğümlerin paket gecikme değerlerine bakılarak taşıma mekanizmasını yöneterek çoklu yayın işleminin etkinliğini arttırmaya çalışmışlardır. Yazarların sunduğu yaklaşım, sadece gecikme metriğinin belirlenen gereksinimlerini karşılaması durumunda, sorgu-katılma mesajlarını ağa gönderebilir. Sunulan yaklaşımın çeşitli benzetim durumları altında

sınırlı taşma ile ODMRP ve asıl ODMRP ile kıyaslandığında etkili oranda paket ek yükünü azalttığı görülmüştür [43].

Kablosuz örgü ağlar sağladığı avantajlardan dolayı kablosuz öz organizeli ağların ve geleneksel kablolu ağların eksikliklerini giderebilir. KÖA gelecek nesil ağlar içinde öncülük edecek bir role sahiptir. KÖA'lar için kusursuz bir hareketlilik yönetimi sağlanabilmesi araştırılan önemli alanlardan biridir. KÖA'nın durağan bir omurga ve sürekli hareketli olan istemcilerden oluşması, yeni bir hareketlilik yönetim çözümü tasarlamayı ve gerçekleştirmeyi zorunlu hale getirmiştir [1].

Zhang ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları “A mobility management scheme for wireless mesh networks based on a hybrid routing protocol” başlıklı çalışmada iletilen paketler için hem bağlantı katman yönlendirmesi hem de ağ katman yönlendirmesi yapabilen melez bir yönlendirme protokolü sunmuşlardır. Yönlendirme protokolünü temel alarak KÖA'lar için hareketlilik yönetim yaklaşımı geliştirmişlerdir. Hem etkileşim alanı içerisinde hem de dışarısında kusursuz olarak hareket esnekliğini desteklemek için yeni bir hareketlilik yönetimi tasarlamışlardır. 4 tane hareketlilik yönetim modelini paket kayıp oranı ve paket gecikmesi gibi ölçütlere dayanarak kıyaslamışlardır. Yaptıkları benzetimde geliştirilen yaklaşımın düşük miktarlarda paket gecikmesi, düşük oranda paket kaybı ve kısa sürede hücreler arası geçiş sağladığı sonucuna ulaşmışlardır [1].

Bu tezin geri kalan kısmı aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır. 2. kısımda, kablosuz örgü ağ mimarisinin yapısı ve özellikleri açıklanmıştır. 3. kısımda, geliştirilen kablosuz örgü ağ protokolünün tanımı, algoritması ve özellikleri gösterilmektedir. Ayrıca, AODV ve AOMDV protokollerinin özellikleri anlatılarak, geliştirilen protokol ile farklı senaryolarda uygulanmıştır. 4. Kısımda uygulanan senaryolardan alınan deneysel sonuçlar gösterilmiştir. 5. kısımda tezin sonuç ve önerileri yer almaktadır.

Bu tezin temel amacı, kablosuz örgü ağlardaki ölçeklenebilirlikten dolayı meydana gelebilecek paket kayıpları, gecikme gibi ağın toplam performansına olumsuz yönde etki eden durumları en aza indirebilecek bir yönlendirme protokolü geliştirmektir.

2. KABLOSUZ ÖRGÜ AĞLARI (KÖA)

Kablosuz örgü ağı, temel olarak kablosuz örgü yönlendiricileri ve kablosuz örgü istemcilerinden oluşur. Bununla beraber kablosuz örgü bulutu içerisinde internete bağlantının sağlandığı en tepedeki cihazlara geçit noktası da denilmektedir. Fakat, yapısal olarak aslında geçit noktası görevini üstlenen cihazlar birer örgü yönlendiricisinden başka birşey değildir.

2.1. Kablosuz Örgü Ağ Mimarisi

Kablosuz örgü ağlar sadece sabit ya da sadece hareketli cihazlarla oluşturulabileceği gibi sabit ve hareketli cihazların beraber kullanılması ile de oluşturulabilir. Bir kablosuz örgü bulutu içerisinde örgü yönlendiriciler ve örgü istemciler bulunmaktadır. Örgü yönlendiriciler kablosuz örgü bulutu içerisinde omurga görevi görürler. Ayrıca bazıları farklı ağlara ya da internete geçişin yapılabilmesi için bir geçit noktası olarak da kullanılırlar. Örgü yönlendiriciler genelde sabit olurken, örgü istemciler hareket edebilirler. Örgü istemcilere örnek olarak; dizüstü bilgisayarlar, hücresel telefonlar ve kablosuz ağ arayüz kartına sahip olan diğer tüm cihazlar verilebilir. Kablosuz örgü ağı mimarisi, ağın içerisinde bulunan düğümlerin işlevselliklerine göre üç gruba ayrılır [4].

Akyıldız ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları “Wireless mesh networks: a survey” başlıklı çalışmada kablosuz örgü ağların temel karakteristik özelliklerini belirtmişlerdir [4].

- Çok sıçramalı kablosuz ağ teknolojisi sunar. KÖA’larda mevcut kanallar kullanılmadan o anki kablosuz ağın kapsama alanı daha az maliyet ile genişletilebilir. Ayrıca, merkezi kablosuz ağlardaki görüş hattı problemi sonucu yaşanan paket kayıplarını birden fazla düğüm üzerinden paketleri göndererek en aza indirebilir.

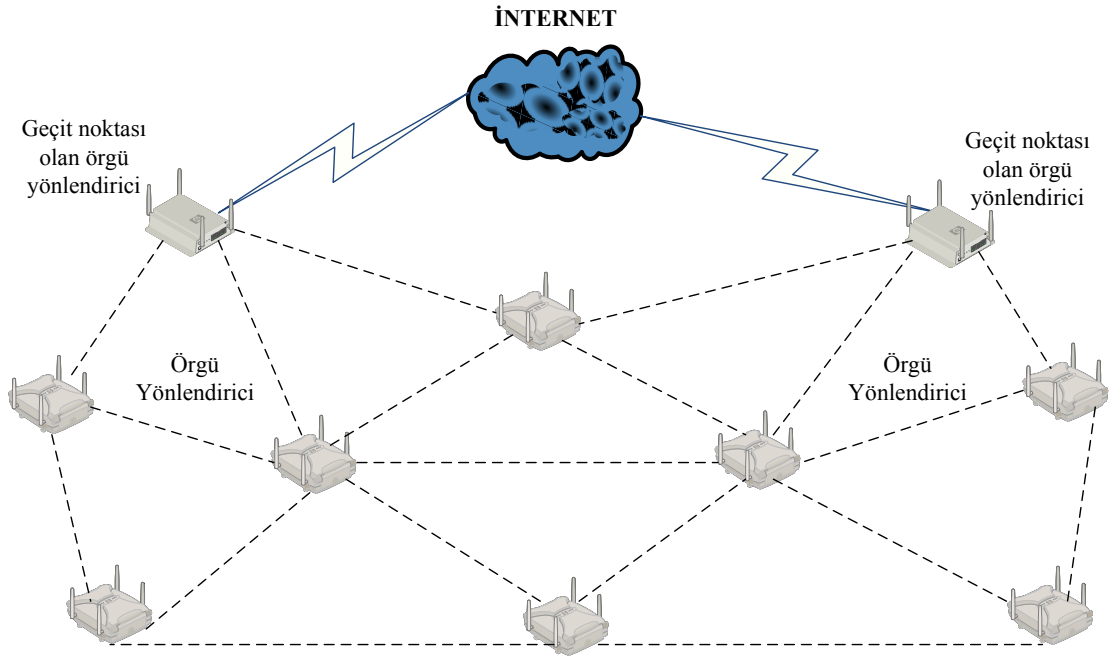
- Farklı birçok ağ teknolojisi ile birlikte çalışabilirken, aynı zamanda kendi aralarında bir alt yapı gereksinimi olmadan P2P bağlantı sağlar.
- Mevcut bulunan bir ağa hiç bir gereksinim olmadan sonradan ekleme ya da çıkartma yapılabilir.
- Enerji kısıtlaması gibi bir sorun KÖA'larda yoktur.
- Çok sayıda yedek bağlantı imkanı sunduğu için güvenilirlik seviyesi oldukça yüksektir.

2.1.1. Kablosuz omurga örgü ağı

Farklı ağ teknolojilerinin ve kablosuz örgü ağı içerisinde bulunan örgü istemcilerinin birbirleri ile iletişime geçebilmesi için alt yapı sunan yapıdır. Kablosuz omurga örgü ağı içerisinde sadece örgü yönlendiricileri bulunmaktadır ve bu yönlendiriciler IEEE 802.11'de kullanılan bir çok radyo teknolojisi ile donatılmıştır. Omurga örgü ağı içerisinde bulunan örgü yönlendiricilerin sahip olduğu anten, kablosuz ağ arayüz kartı gibi donanımsal parçaların miktarı örgü istemcilerde bulunanlardan fazladır. Örgü yönlendiricilerinin donanımsal olarak daha fazla parçaya ve radyo teknolojisine gereksinim duymasının sebebi, ağ içerisindeki her bir örgü yönlendiricisinin farklı kanallar kullanarak birbirleri ile bağlantı sağlaması ve farklı ağ teknolojilerini birleştirebiliyor olmasıdır. Şekil 1'de kablosuz bir omurga örgü ağı gösterilmiştir.

Örgü yönlendiriciler, birbirleri arasındaki bağlantılarda meydana gelecek olan kopmaları anlayabilecek yeteneğe sahiptir. Geleneksel örgü mimarisinden gelen yedeklilik sayesinde sağlam olan bağlantı ile bir aksama yaşanmadan iletişime devam edilebilir. Omurga örgü ağı içerisinde bulunan geçit noktaları ile internet ya da mevcut olan farklı ağlara bağlantı sağlanır. Eğer bir örgü yönlendiricisi üzerinde kablolu ağ arayüz kartı mevcutsa, geleneksel kablolu kullanıcılar bu kart sayesinde kablosuz örgü ağına dahil olur. Bu açıdan bakıldığında zaman, kablosuz örgü ağı içerisinde en fazla donanıma sahip olan cihaz geçit noktası olarak da görev yapan örgü yönlendiricileridir.

Omurga örgü ağı, en çok kullanılan kablosuz örgü ağı tipidir. Örneğin, bir mahalleyi kapsayacak kablosuz ağ iletişimi omurga örgü ağ mimarisi kullanılarak yapılabilir. Bir mahalledeki evlerin çatılarına örgü yönlendiricileri yerleştirilirse, ilgili mahalledeki tüm kablosuz kullanıcılara erişim noktası gibi hizmet vermesi sağlanabilir [4]. Bu noktada, omurga örgü ağında bulunan örgü yönlendiricilerin birbirleri ile iletişimi yönlü antenler kullanılarak sağlanabilir. Böylece, mahallenin kapsama alanı içerisinde bulunan kişilere internet hizmeti sunulabilir.



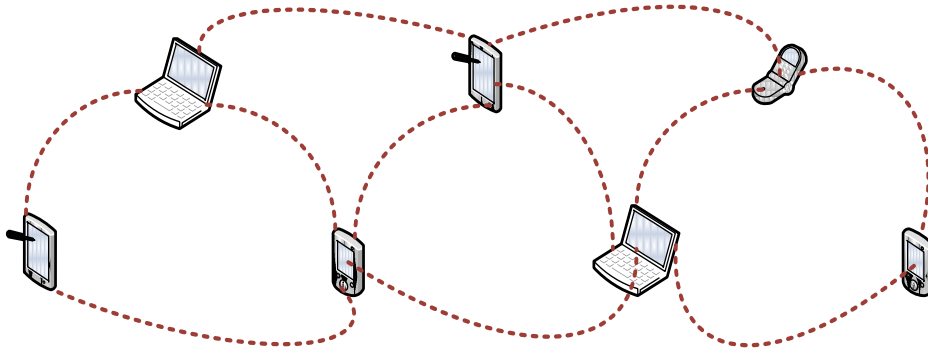
Şekil 2.1. Kablosuz omurga örgü ağı

2.1.2. Kablosuz istemci örgü ağı

Örgü istemci ağı içerisinde örgü yönlendiricilerinin bulunmasına gerek yoktur ve sadece kablosuz İstemci örgü ağlar içerisindeki cihazlar genelde tek bir radyo teknolojisine sahip olmakla beraber, üzerlerinde tek bir kablosuz ağ arayüz kartı bulundurulur [4]. Şekil 2’de kablosuz bir istemci örgü ağının mimarisi gösterilmiştir.

Bu istemciler kullanıcılara son kullanıcı uygulamalarını kullanabilme imkanı sağlamakla birlikte, yönlendirici olarak başka istemcilerin paketlerini de kendi

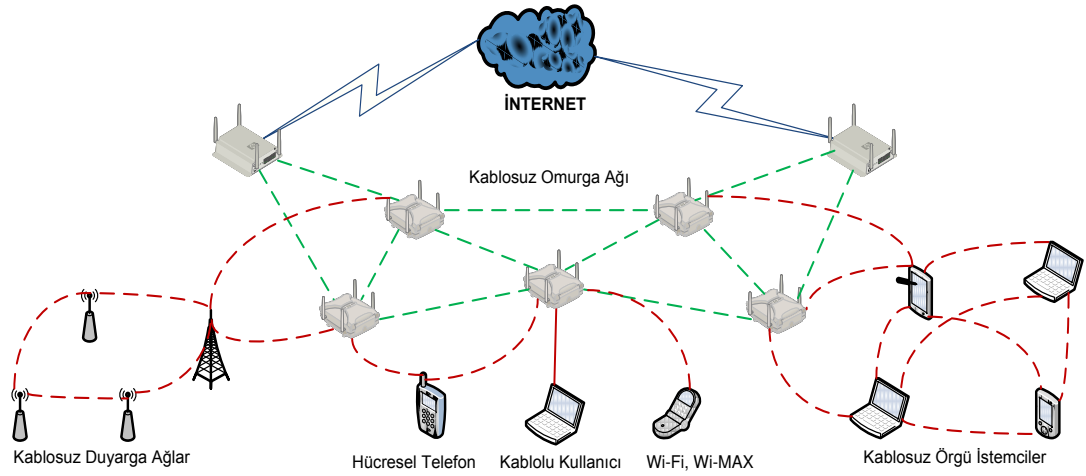
üzerinden gönderebilme imkanı sunar. Bu sayede, bir istemcinin paketi diğer istemciler üzerinden sıçrayarak hedefine ulaşmış olur. Sonuç olarak, örgü istemciler hem istemci hem de yönlendirici görevi görmüş olur. Bu açıdan bakıldığında, istemci örgü ağı bir ad-hoc ağ gibi işlev görür ve ağ mimarisi olarak benzerdir. Bundan dolayı, ad-hoc ağlar için kullanılan yönlendirme protokolleri istemci örgü ağlar için kullanılabilir. İstemci örgü ağlar ile ad-hoc ağlar arasında mimari açıdan en belirgin fark, istemci örgü ağının ad-hoc ağlardan daha fazla yedek bağlantı sunmasıdır. Fakat, istemci örgü ağının sağladığı bu avantaj ölçeklenebilirlik sorununu da beraberinde getirmektedir.



Şekil 2.2. Kablosuz istemci örgü ağı

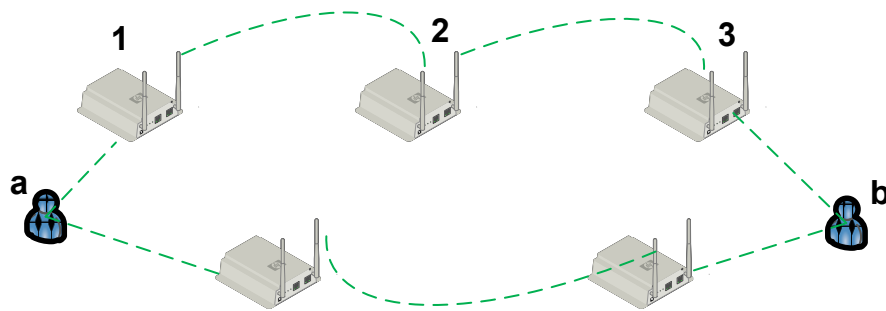
2.1.3. Kablosuz melez örgü ağı

Yönlendirici örgü ağı ile istemci örgü ağının birleştirilmesi ile oluşturulan ağ yapısıdır. Örgü istemciler doğrudan örgü yönlendiricisine bağlanabileceği gibi, başka bir örgü istemcisi üzerinden de ağa dahil olabilirler. Şekil 3’de kablosuz bir melez örgü ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kablosuz melez örgü ağı

Gelecek nesil kablosuz ağ teknolojisinin melez örgü ağı mimarisi şeklinde olacağı düşünülmektedir. Örneğin, bir şehrin belli noktalarına internet servis sağlayıcıları kendi merkezlerini kurduğunu ve bu merkezlerin herbirine geçit yolu olarak bir örgü yönlendirici yerleştirildiğini farz edelim. Şehrin bir çok noktasına kablosuz örgü yönlendiricileri yerleştirilerek bir omurga örgü ağı oluşturulabilir. Bu sayede, şehirdeki tüm kullanıcılar en yakın olan örgü yönlendiricisi vasıtası ile ağı dahil olur ve internete diğer örgü yönlendiricilerden sıçrama yaparak internet servis sağlayıcının geçit yoluna gelerek internete erişimi sağlanmış olacaktır. Literatürde bu şekilde iletişim sağlanması çoklu sıçrama olarak geçmektedir. Bahsedilen bu yapı, şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Çoklu Sıçrama Yapısı

Kablosuz örgü ağlar için kullanılabilecek yönlendirme protokolleri farklı kriterlere göre birçok gruba ayrılabilir. Bu sınıflandırmada kesin sınırlar yoktur. Bir yönlendirme protokolü birçok gurubun altına düşebilir. Genellikle, bu protokoller 4 guruba ayrılır [44].

- 1- Ad-Hoc Tabanlı Yönlendirme Protokolleri
- 2- Kontrollü Taşma Yönlendirme Protokolleri
- 3- Trafik Farkındalıklı Yönlendirme Protokolleri
- 4- Fırsatçı Yönlendirme Protokolleri

2.2. Kablosuz Örgü Ağlarda Yönlendirme Protokolleri

2.2.1. Ad-Hoc tabanlı yönlendirme protokolleri

Kablosuz örgü ağlar, hareketli ad-hoc ağların bir türevi olarak kabul edildiğinden dolayı bu ağlar için geliştirilen yönlendirme protokolleri kablosuz örgü ağlar içinde kullanılabilir. Bu sınıflama yapılırken göz önünde bulundurulanan temel kavram protokollerin üzerinde barındırdıkları yönlendirme tablosunu güncelleme şekline dayanır. Bu kavrama dayanarak yapılan sınıflama kendi içinde üç ana başlığa ayrılır.

Yönlendirme tablosunu periyodik olarak yenileyen yönlendirme protokolleri

Bu yöntemde ağ içerisinde bulunan her düğüm tüm ağın topoloji bilgisini bir tabloda tutar ve bu tablo periyodik olarak tüm düğümler tarafından ağa gönderilerek bir değişiklik olup olmadığının kontrolünü yapar. Eğer bir değişiklik varsa tuttuğu yönlendirme tablosunu günceller.

İstek üzerine hedef rotayı bulan yönlendirme protokolleri

Bu sınıfa ait protokoller tüm ağın topoloji bilgisini yönlendirme tablosunda tutmak yerine, istek olduğu zaman gidilecek rotayı bulup bu bilgiyi belli bir süre boyunca yönlendirme tablosunda tutarlar. Periyodik olarak tablo değişimi bu gruptaki

protokoller için söz konusu değildir. Yönlendirme tablosunda bulunmayan bir hedefe paket gönderileceği zaman tüm ağa rota keşif isteği bilgisini içeren paket yayılır.

Karma yönlendirme protokolleri

Bu sınıftaki protokoller yukarıda bahsedilen sınıflardaki protokollerin iyi yanlarını birleştirmişlerdir. Ağdaki her düğümün bir yönlendirme tablosu vardır. Bu alandaki bir düğüme erişileceği zaman bu düğümlerin tutulduğu tabloya bakılır. Eğer bu tabloda istenilen rota yoksa bu durumda istek üzerine rota keşif paketleri ağa gönderilerek hedef bulunmaya çalışılır.

2.2.2. Kontrollü taşma yönlendirme protokolleri

Bir ağda bulunan düğümler arasındaki rotaların bulunması için yapılan her işlem ve oluşturulan her paket ağa fazladan yük getirmektedir. Ağın ölçeklenebilirliği açısından düşünüldüğünde fazladan yük getiren her kontrol paketi ağın ölçeklenebilmesini zorlaştırmaktadır ve verimsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Kontrol taşma protokolleri ağın topolojisini oluşturmak için düğümler tarafından kullanılan her türlü paketin getirdiği yükü azaltabilmek için tasarlanmıştır.

Klasik kontrol paketlerinin yönlendirme taşması ile karşılaştırıldığında yönlendirme yükünü azaltacak iki temel yaklaşım bu sınıfa giren protokollerde ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımlar sırasıyla zamansal taşma ve uzamsal taşmadır. Zamansal taşmada frekans kaynak yönlendiriciye olan uzaklığa göre belirlenmiştir. Diğer taraftan uzamsal taşmayı kullanarak uzak düğümler kaynaktan daha az kesin ve detaylı bilgileri alırlar. Komşu düğümlere gönderildiği sıklıkta uzak düğümlere paket gönderilmesi gerekmez [44].

2.2.3. Trafik Farkındalıklı Yönlendirme Protokolleri

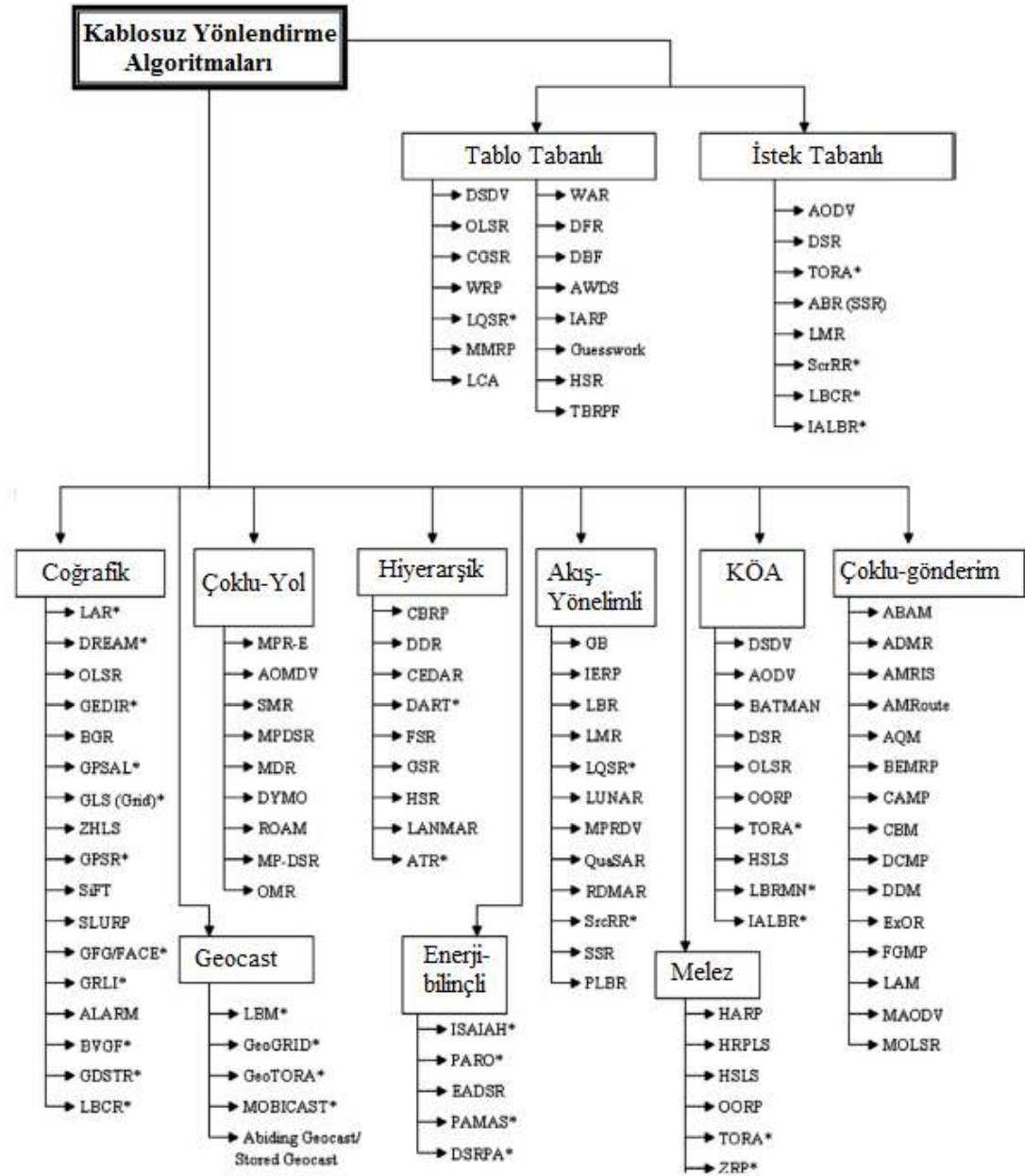
Trafik farkındalıklı yada ağa tabanlı protokoller kablosuz örgü ağların genel mimarisini dikkate alır [44]. Kablosuz bir ağ topolojisinde düğümler arasındaki

bağlantılar üzerinde akan paket miktarı farklılık göstermektedir. Birbirlerine daha yakın olan düğümler arasındaki trafik yükü uzak olandan düğümden daha fazla olduğu durumlarda bunun fark edilip trafiğin daha az olduğu fakat rota olarak daha uzun olan yönün seçilerek paketlerin gönderilmesi ağın performansını arttırabilir. Bu yaklaşım göz önünde bulundurulduğunda bunu fark edebilecek yönlendirme protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, ağdan akan her paketin önemi farklı olmaktadır. Ağdaki gecikmeye daha hassas olan paketlerin olması bu paketlere öncelik verilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu sınıftaki protokoller bu farkındalığı anlamaya yönelik yetenekleri olan protokollerdir.

2.2.4. Fırsatçı Yönlendirme Protokolleri

Bu sınıfa giren protokoller gönderecekleri paketin en azından bir sonraki düğüme gönderilmesini garanti ederler. Ortam erişim kontrolü ve yönlendirme protokolünün birleştirilmesi ile oluşturulur. Ağdaki yönlendirme işlemini yapacak olan düğüm yayılma paketlerini yığın halinde bir önceki yol hesaplamalarını içermeyecek şekilde gönderirler. Bir iletimin duyulması için sadece bir ara düğüme ihtiyaç olduğundan, yayılma veri paketlerinin güvenilirliğini artırır. Bu sınıftaki protokollerde genel yaklaşım uzun süreli yolların hesaplanmasıdır ve bu yolların kullanılması sırasında fırsatçı bir şekilde kısa süreli daha uygun olan yolları kullanabilmek için sürenin uzatılması yada kısaltılmasıdır. Ortam değişikliklerine ayak uydurabilmek için paket bazında iletişim yapılır.

Literatürde kablosuz ad-hoc ve örgü ağlar için mevcut bulunan yönlendirme protokolleri ve algoritmaları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 2.5 ve Tablo 2.1 de gösterilmiştir [45].



Şekil 2.5. Kablosuz ağ yönlendirme protokolleri sınıflaması

Kablosuz Ağ Yönlendirme Protokolleri

ABAM	On-Demand Associativity-Based Multi-cast
AGC/SGC	Abiding Geo-cast/Stored Geo-cast, Time-Stable Geo-casting
ABR	Associativity-Based Routing
ADMR	Adaptive Demand-Driven Multi-cast Routing
ALARM	Adaptive Location Aided Routing Protocol - Mines
AMRIS	Ad-Hoc Multi-cast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS
AMRoute	Ad-Hoc Multi-cast Routing Protocol

AODV	Ad-Hoc On-demand Distance Vector Routing Protocol
AOMDV	Ad-Hoc On-demand Multi-path Distance Vector Routing
AQM	Ad-Hoc QoS Multi-cast
ATR	Augmented Tree-based Routing
AWDS	Ad-Hoc Wireless Distribution Service
BATMAN	Better Approach To Mobile Ad hoc Networking
BEMRP	Bandwidth-Efficient Multi-cast Routing Protocol
BGR	Blind Geographic Routing
BVGF	Bounded Voronoi Greedy Forwarding
CAMP	Core-Assisted Mesh Protocol
CBM	Content Based Multi-cast
CBRP	Cluster Based Routing Protocol
CEDAR	Core Extraction Distributed Ad-Hoc Routing
CGSR	Cluster-head Gateway Switch Routing protocol
DART	Dynamic Address Routing
DBF	Distributed Bellman-Ford Routing Protocol
DCMP	Dynamic Core Based Multi-cast Routing Protocol
DDM	Differential Destination Multi-cast
DDR	Distributed Dynamic Routing Algorithm
DFR	Direction Forward Routing
DREAM	Distance Routing Effect Algorithm for Mobility
DSDV	Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector routing protocol
DSR	Dynamic Source Routing
DSRPA	Dynamic Source Routing Power-Aware
DYMO	Dynamic MANET On-demand Routing Protocol
EADSR	Energy Aware Dynamic Source Routing Protocol
FGMP	Forwarding Group Multi-cast Protocol
FSR	Fisheye State Routing protocol
GB	Gafni-Bertsekas
GDSTR	Greedy Distributed Spanning Tree Routing
GEDIR	Geographic Distance Routing
GeoGRID	Geographical GRID
GeoTORA	Geographical TORA
GFG/FACE	Greedy FACE Greedy
GLS	Geographic Location Service
GPSAL	GPS Ant-Like Routing Algorithm
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GRLI	Geographic Routing without Location Information
GSR	Global State Routing protocol
Guesswork	Guess Work
HARP	Hybrid Ad-Hoc Routing Protocol
HRPLS	Hybrid Routing Protocol for Large Scale Mobile Ad-Hoc Networks with Mobile Backbones
HSLS	Hazy Sighted Link State routing protocol
HSR	Hierarchical State Routing protocol
IALBR	Interference-Aware Load-Balancing Routing

IARP	Intra-zone Routing Protocol/pro-active part of ZRP
IERP	Inter-zone Routing Protocol/reactive part of ZRP
ISAIH	Infra-Structure Aodv for Infrastructured Ad-Hoc networks
LAM	Lightweight Adaptive Multi-cast
LANMAR	Landmark Routing Protocol for Large Scale Networks
LAR	Location-Aided Routing protocol
LBCR	Load-Balancing Curveball Routing
LBM	Location Based Multi-cast
LBR	Link life Based routing
LBRMN	Load-Balancing Routing for Mesh Networks
LCA	Linked Cluster Architecture
LMR	Lightweight Mobile Routing protocol
LQSR	Link Quality Source Routing
LUNAR	Lightweight Underlay Network Ad-Hoc Routing
MAODV	Multi-cast Ad-Hoc On-Demand Distance Vector routing
MDR	Multi-path on-Demand Routing
MMRP	Mobile Mesh Routing Protocol
MOBICAST	Mobile Just-in-time Multicasting
MOLSR	Multi-cast Optimized Link State Routing
MP-DSR	Multi-Path Dynamic Source Routing
MPRDV	Multi-point Relay Distance Vector protocol
MPR-E	Multi-Path Routing with EAPAR
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
OMR	On-demand Multi-path Routing
OORP	Order-One Routing Protocol
PAMAS	Power-Aware Multi-Access Protocol with Signaling
PARO	Power-Aware Routing Optimization Protocol
PLBR	Preferred link based routing
QuaSAR	QoS aware source initiated Ad-Hoc routing
RDMAR	Relative-Distance Micro-discovery Ad hoc Routing protocol
ROAM	Routing On-demand Acyclic Multi-path
SiFT	Simple Forwarding over Trajectory
SLURP	Scalable Location Update-Based Routing Protocol
SMR	Split Multi-path Routing
SrcRR	Source Routing for Roofnet
SSR	Signal Stability Routing protocol
TBRPF	Topology Dissemination based on Reverse-Path Forwarding routing protocol
TORA	Temporally-Ordered Routing Algorithm routing protocol
WAR	Witness Aided Routing
WRP	Wireless Routing Protocol
ZHLS	Zone-based Hierarchical Link State routing
ZRP	Zone Routing Protocol

Çizelge 2.1. Literatürdeki kablosuz ağ yönlendirme protokolleri

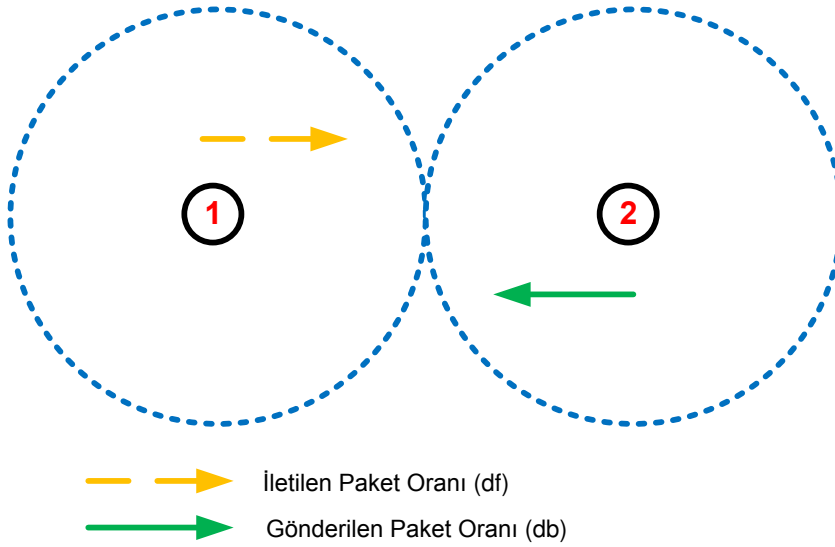
2.3. KÖA’da Kullanılan Metrikler ve Çoklu Kanal Atama Sorunları

2.3.1. En az sıçrama sayısı metriği

Kablolu ve ya kablosuz tüm ağlarda genel olarak rota kalitesi belirleme ölçütü olarak kabul edilen bir metriktir. Bir rotanın kalitesi bu metriğe göre değerlendirilirken, ilgili rota üzerindeki kaynak ile hedef arasında bulunan düğümlerin sayısı göz önünde bulundurulur. Daha az düğüm geçilerek hedefe ulaşılan rota daha iyi rota olarak değerlendirilir. Bu metriğin en büyük dezavantajı rotanın bantgenişliği bilgisini rotayı değerlendirirken dikkate almamasıdır.

2.3.2. Etx ve Ett metriği

ETX, minimum sıçrama sayısı metriğinin sınırlılıklarını aşmak için tasarlanan kablosuz bir bağlantı metriğidir. Bir bağlantının ETX’i o bağlantı üzerinden başarılı bir şekilde paket göndermek için gerekli olan iletim zamanıdır. ETX’in elde edilmesi bir bağlantı üzerinden iletilen ve bu iletiye geri dönen paketlerin oranının ölçülmesi ile sağlanır. Şekil 2.6’de iletilen paket oranı df (Turuncu ok), node 2’ye doğru gönderilen veri paketlerin başarılı şekilde iletilme olasılığının ölçülmesidir. Geriye doğru gönderilen paket oranı db (Yeşil ok), ACK paketlerinin node 1’e doğru başarılı şekilde iletilme olasılığıdır. Bir iletimin doğru olma olasılığı $df \times db$ olarak hesaplanır. Her bir iletimin bir önceki iletimden bağımsız olduğu düşünülürse, beklenen iletim sayısı; $ETX = 1/df \times db$ olarak hesaplanır. En düşük hızda iletilen hello mesajları ile df ve db değerleri ölçülmektedir. Fakat veri paketleri daha yüksek hızda gönderilir. Bundan dolayı, hello paketleri ile gerçek veri paketlerinin başarılı şekilde iletilme olasılığının aynı olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2.6. ETX ve ETT metriği

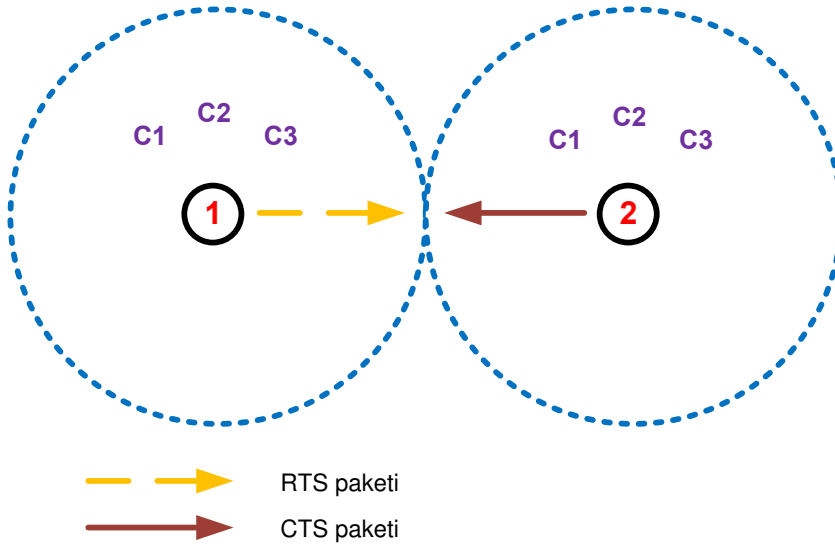
ETT, ETX'in bant genişliğine göre uyarlanmış halidir ve bir paketin iletimi için harcanan zaman ETT aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$ETT = ETX \times L/R$$

Burada L veri paketinin büyüklüğünü, r ise paket iletimi için kullanılan bağlantı hızını ifade eder. ETT, ETX'den daha hatasız bir şekilde kablosuz bağlantı kalitesini belirlemek için hız bilgilerini kullanır.

2.3.3. Çoklu kanal atama

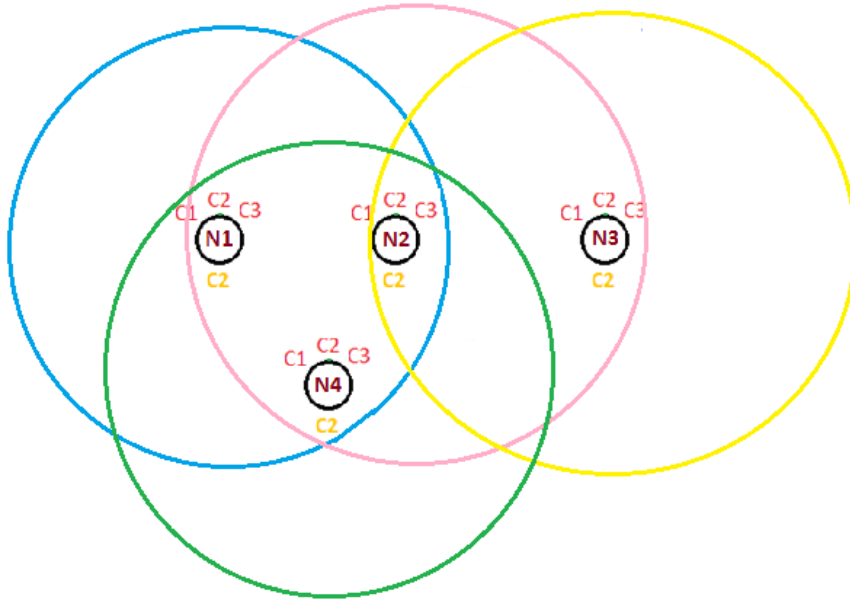
Bir düğümün kanalı kullanmadığı zaman, üzerinde bulunan bu kanalları dinleme moduna alır. Bir düğümün göndereceği verisi olduğu zaman, alıcı düğümün kanalı ne ise kendini o kanala ayarlar ve bir RTS paketi paketi gönderir. Şekil 2.7'de, node 1'in gönderecek bir verisi olduğu farz edilmektedir. Node 1, node 2'nin kanalına göre, kendi kanalını ayarlar ve bir RTS(Turuncu ok) paketi gönderir. RTS paketini alan node 2, cevap olarak CTS paketi(kavrerengi ok) gönderir ve aynı kanal üzerinden veri paketlerinin gelmesini bekler. CTS paketini alan node 1, verisini anlaştıkları kanal üzerinden gönderir. Veri transferi bittikten sonra, node 1 arayüzünü kendi kanalına tekrar çeker.



Şekil 2.7. Çoklu kanal atama

2.3.4. Tek radyo çoklu kanal atama

Şekil 2.8’de her düğüm üzerinde kullanılabilen üç tane kanal(C1,C2,C3) olduğunu farz edilmektedir. Ayrıca, statik olarak N1’e C1, N2’ye C2, N3’e C3 ve N4’e C2 kanalı varsayılan olarak atanmıştır. Bir düğüm boşa olduğu zaman bu atanan kanal üzerinden gelecek olan sinyalleri bekler. Düğüm N1 düğüm N4’e paket göndereceği zaman, ilk olarak kendi komşusu olan N2’nin varsayılan kanalına(N2) bağlantı kurma isteğini ifade eden bir RTS paketi gönderir. N2 bu RTS paketini aldığı anda, paketi N3’e göndermek için, N2 ile iletişime geçmesini yönlendirme tablosuna bakarak anladığı zaman, N3’ün varsayılan kanalını(C3) kendisine N1’den gelen RTS paketini iletir. Aynı şekilde N3’de kendisine gelen RTS paketini N4’ün varsayılan kanalı üzerinden iletir. Aynı şekilde RTS paketine cevap olan CTS paketi geri döner. Şekil 2.8’de bu yapının temsili şekli görülmektedir.



Şekil 2.8. Tek radyo çoklu kanal atama

2.3.5. Çoklu kanal tek radyo atama problemleri

Çoklu kanal gizli bağlantı problemi

Şekil 2.8’de düğüm N1, düğüm N2’ye paket göndereceği zaman, kendi kanalını C2 olarak ayarlar ve RTS1 paketi gönderir. Düğüm N2 aldığı bu RTS1 paketine cevap olarak CTS1 paketini N1’e gönderir ve N1’den N2’ye doğru veri paketi gönderilmeye başlanır. Bu anda N3 kendi kanalını(C3) dinlemektedir ve N2 ile N1’in C2 kanalı üzerinden iletişim kurduklarının farkında değildir. Bu nedenle; N3, N4 ile iletişim kurabilmek için N4’ün dinlediği kanal olan C2yi kullanarak RTS2 paketi gönderebilir. Bu durum N2’de paket çarpışmasına neden olur. Bu problem çoklu kanal ile gizli bağlantı olarak bilinir. Tek kanal kullanımı olduğu durumlarda N3’ün gönderdiği RTS2 paketi daha önceki CTS1 paketi nedeniyle engellenecektir. Çoklu kanal kullanımda belli bir kanal üzerinden gönderilen RTS ve CTS paketleri diğer düğümler başka kanalları dinlediği için alınmaz ve bunun sonucunda çoklu kanal gizli bağlantı problemi oluşur.

Sağırılık problemi

Şekil 2.8’de düğüm N2’nin düğüm N3 ile C3 kanalı üzerinden veri gönderimi yapıyor olduğunu farz edelim. Aynı anda, düğüm N1 ise düğüm N2 ile iletişime geçebilmek için düğüm N2 nin varsayılan kanalı olan C2 kanalına RTS paketi göndermesi durumunda bu RTS paketini N2 duymaz. Çünkü, N2 düğümü o anda C3 kanalı üzerinden N3 ile haberleşmektedir. Bu durum N2’nin kendi varsayılan kanalını dinlemeye başlamasına kadar sürer. Bu durum sağırılık problemi olarak bilinir.

Kanal kördüğüm problemi

Birbirleri arasında farklı kanal üzerinden haberleşmek isteyen düğümlerin olduğu ortamlarda, her bir düğüm data göndermek isteyeceği düğümün kanalına kendisini ayarlayıp, o kanal üzerinden iletişim yaparken, kendi kanalına gelen isteklere cevap veremez. Böyle bir ortamda, tüm düğümler birbirlerinin kanalını dinlemeye geçerse, düğümler arasında kanal atanamama gibi bir problem ortaya çıkar. Bu durum kanal kördüğümü olarak adlandırılır.

Herkese yayın problemi

Herkese yayın problemi üst katmanlardaki bazı protokollerin çalışabilmesi için broadcast paketlerine ihtiyaç duymasından kaynaklanır. Herhangi bir kanal içerisinde iletilen broadcast paketleri düğümün kapsama alanı içerisinde bulunan düğümlere ulaşır.

Çok yönlü anten kullanımı

Düğümlerin üzerinde çok yönlü anten kullanılması durumunda bir düğümün yaptığı iletişim kendi kapsama alanı içerisinde bulunan diğer tüm düğümler tarafından duyulacaktır. Örneğin, Şekil 2.9’de gösterilen zincir topolojisi dikkate alınırsa, düğüm b’nin kanal 1 üzerinden düğüm a ile yaptığı iletişim sırasında eğer düğüm c, düğüm

b'nin kapsama alanında ise düğüm c tarafından anlaşılacaktır. KÖA içerisinde genellikle çok yönlü anten kullanılır. Bundan dolayı, sanki düğüm b ile c arasına Şekil 2.10'deki gibi kanal 2 bağlantısı atanmış gibi bir durum oluşur. Bu yüzden, bağlantı yönetimi kullanılarak topoloji korunumu ile kanal atama yaklaşımı pek de kullanışlı değildir.



Şekil 2.9. Çok yönlü anten kullanımı



Şekil 2.10. Çok yönlü anten kullanım sonucu

3. GELİŞTİRİLEN ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ (ADSRP)

Bu bölümde, önerilen ölçeklenebilir yönlendirme protokolü (ADSRP) detayları ile anlatılmıştır. Yöntem temel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak mevcut ağ topolojisi içerisinde bulunan düğümler arasından iki tane kablosuz örgü ağda geçiş noktası olarak işlem yapacak düğümlerin tespit edilmesidir. İkinci aşamada topolojideki herbir düğüm, ilk aşamada tespit edilen iki tane düğüme ulaşılabilen olası tüm rotaların bulunması ve bulunan bu rotalardan en uygun olanını yönlendirme tablosuna, bulunan diğer rotaları ise geçiş noktası tablosu olarak isimlendirilen tabloya eklemesidir. Bu işlem ilk aşamada belirlenen iki tane geçiş noktasının her biri için ayrı ayrı yapılmaktadır. Üçüncü aşamada, bir geçiş noktasına gönderilecek paketi olan düğümlerin kendi yönlendirme tablosunda bakarak ilgili hedefi burada araması eğer ilgili rota kaydı yoksa paketi düşürmek yerine geçiş noktası tablosuna bakarak bu tabloda bulunan diğer rota üzerinden paketi hedefine göndermesidir. Son

aşamada ise topolojiye katılan yeni bir düğüm olduğunda, bu düğümün komşusuna gönderdiği hello mesajından sonra kendisine cevap olarak iki geçiş noktasında ilgili rota bilgileri gönderilmektedir. Bu sayede, topolojiye katılan yeni düğüm geçiş noktalarına ulaşabilecek rotaları ağa herhangi bir rota istek paketi göndermeden öğrenmiş olmaktadır. Böylece ağın daha kolay, masrafsız ve etkin şekilde ölçeklenebilmesi sağlanmaktadır.

3.1. Geçiş Noktası Tespit Yaklaşımı

Kablosuz örgü ağlar göz önünde bulundurulduğunda ağdaki akan trafiğin çok büyük bir kısmı ağdaki düğümler ile geçiş noktaları arasında olmaktadır. Yani, geçiş noktası olmayan herhangi iki düğüm arasındaki akan trafik miktarı oldukça az bir oranı oluşturmaktadır [4-5,8,16]. Bu yüzden, geliştirilen protokolün dayandığı temel fikir bu yönde olmuştur ve bu fikir çerçevesinde protokol tasarlanmıştır.

Geçiş noktası tespit yaklaşımında ilk olarak topolojideki tüm düğümler kendisini geçiş noktası olarak varsaymaktadır. Düğümler kendi aralarında birbirlerine gönderdikleri geçiş noktası tespit paketleri (GNTP-Gateway-Discover-Packet) ile gerçek geçiş noktalarını bu paket değişimleri sonrasında öğrenirler. Düğümler GNTP paketinden aldıkları bilgileri saklamak için kendi üzerlerinde geçiş tablosu (GT-Gateway-Table) olarak adlandırılan bir tablo barındırırlar. Geçiş noktası paket başlığı içerisinde her düğümün kendi düğüm numarasının (DN-Node-Number) alanını, iki tane geçiş noktası düğümün numarası (GNN1, GNN2-Gateway-Node-Number) alanları ve yaşam süresi alanı (TTL-Time-to-Live) bulunmaktadır. İlk başta topolojideki tüm düğümlerin DN ve GNN alanları düğümün kendi numarasıdır. Bu yüzden, ilk başta tüm düğümler GNN alanlarında kendi numaralarını gördükleri için kendilerini geçiş noktası varsaymaktadır. Bir düğüm başka bir düğümden bir GNN paketi aldığı anda paketin GNN alanına bakar ve eğer bu değer kendi üzerinde barındırdığı GNN alanından büyükse paketi düşürür, küçükse kendi üzerinde tuttuğu GNN değerini değiştirerek günceller ve kendi üzerindeki güncel DN ve GNN değerlerini kendi oluşturduğu GNTP paketine koyarak komşularına iletir. Bu işlem

tüm ağa yayılınca kadar sürer ve düğümler belli periyotlarda kendi komşularına bu GNTTP paketlerini yollayarak değişiklik olup olmadığının kontrolünü yapar.

```
if ((Alınan paket GNTTP-> GNN1 && GNN2 >= düğümün DN) ||
    (paketin TTL == 0))
{
    Paketi Düşür
}

else
{
    Geçiş tablonu güncelle
}
```

3.2. Geçiş Noktası ve Kaynak Düğümler Arasındaki Rotaların Bulunması

Geçiş noktası tespiti işlemi bittikten sonra, rota bulma işlemi AOMDV protokollerinde olduğu gibi rota istek paketlerinin yayılması ile elde edilir. Önerilen protokolün rota bulma işlemi sırasındaki farkı tüm düğüm çiftleri için yedek rotalar bulmak yerine, sadece geçiş noktası olan düğümlerin diğer düğümler ile oluşturdukları düğüm çiftleri arasında yedek rota bulma işlemini gerçekleştirmesidir. Bu sayede kablosuz örgü ağlar içinde çok az trafiğin aktığı geçiş noktası olmayan düğümler arasında yedek rota bulma işleminin getirdiği gereksiz rota arama işleminden dolayı oluşacak fazladan yük ve işlemden kaçınılmış olunur. Dolayısıyla bu düğüm çiftleri için AODV protokolündeki tek bir rotayı saklama yaklaşımı kullanılmış olur. Geçiş noktası ile oluşturulan düğüm çiftleri arasında bulunan rotalardan en uygun olanı yönlendirme tablosuna atılırken, diğer rotalar geçiş noktası tablosunda saklanır.

```
if (Alınan rota bilgisinin hedef adresi geçiş noktasıysa)
{
    if (Alınan rotanın maliyeti > mevcut rota maliyeti )
        Yönlendirme tablosunu güncelle
    else
        Geçiş noktası tablosuna rotayı ekle
}
else
{
    Yönlendirme tablosunu güncelle
}
```

Geçiş noktaları ile düğümler arasında rotalar ve geçiş noktası olmayan düğümler arasındaki rota bulunduğundan sonra, geçiş noktasına veri paketi göndermek isteyen düğümler öncelikle yönlendirme tablosuna bakarak hedefteki geçiş noktasının adresini bu tabloda aramaktadır. Eğer bu tabloda ilgili rota bilgisi bulunamazsa geçiş noktası tablosuna bakılarak yedek olan rota üzerinden veri paketleri iletilir ve bu rota yönlendirme tablosuna aktarılır.

```
while (Tüm paketler bitene kadar)
{
    if ( rota kaybı !=0)
    {
        Mevcut rotayı kullan
    }
    else
    {
        if(geçiş noktası tablosunda rota varsa)
        {
            Rotayı kullan
            Rotayı yönlendirme tablosuna taşı
        }
        else
            Yol ara
    }
}
```

3.3. Benzetimin Gerçekleştirilmesi

3.3.1. Benzetim ortamı

ADSRP protokolünü test etmek ve elde edilen sonuçları bu konuda gerçekleştirilmiş diğer protokoller ile karşılaştırarak sonuçlar elde etmek amacıyla ns-2 ağ benzetim aracının ns-2.33 sürümü kullanılmıştır. Bu sürümün kaynak kodları yamalanarak çoklu kanal ve çoklu arayüz kullanımına uygun hale getirilerek yeniden derlenmiştir. Benzetim aracı olarak ns-2'nin seçilmesinin nedeni, gerçek bir ağ ortamı sunması, ortamın esnekliğinin çok iyi olması, literatürdeki çoğu çalışmanın bu benzetim aracı kullanılarak yapılmış olmasıdır. Ayrıca, AODV, AOMDV gibi protokollerin ns-2 içerisinde tanımlanmış olması ve kodlarının açık olması sonucu istenilen kodların içine gömülerek kullanılabilme imkanı sağlamasından dolayı yeni geliştirilen

protokolün performansının diğer yönlendirme protokolleri ile karşılaştırılması esnasında bir çok kolaylık sağlamıştır ve test sürecini kısaltmıştır.

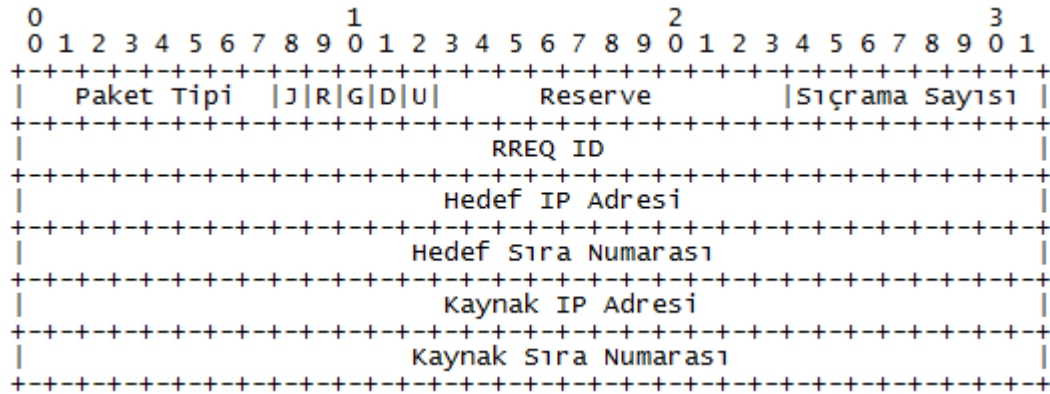
3.3.2. ns-2 ağ benzetim aracı

Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilen ns-2, kesikli benzetim aracı olarak tanımlanmaktadır. Hem mevcut kablosuz ağ standartları hemde kablolu ağlar için gerçek ortam imkanı sunmaktadır. Scripting dili olarak OTCL (Object Tool Command Language) kullanan C++ dilinde yazılmış nesne tabanlı bir araçtır. Değişik senaryolar ile deneyleri, var olan protokoller üzerine taşımak için düğümler, bağlantılar, protokoller, trafik vb. gibi çeşitli bileşenlerin tanımlandığı ve çalıştırıldığı bir OTCL scripti yazılabilir. Bununla birlikte var olan bir yönlendirme algoritmasını değiştirmek veya yeni bir yönlendirme algoritması geliştirmek için C++ programlama dili kullanılmak zorundadır. C++ programla dili ile OTCL script dilini Tcl/Tk script dili kullanılarak birbirlerine entegrasyonu sağlanmaktadır. Ayrıca ns-2 içerisinde Tk scripti sayesinde görselliği sağlamak amacıyla nam emilatör olarak adlandırılan görsel arayüz imkanı ile düğümlerin hareketleri izlenebilir. Ns-2 benzetim işlemi süresince meydana gelen her olayı benzetim işlemi sonunda trace formatında rapor eder. Elde edilen bu rapor ve karşılaştırma yapılacak diğer protokollerin rapor sonuçları karşılaştırılarak doğru ve gerçekçi bir analiz yapılabilir.

3.3.3. Benzetimde kullanılan AODV yönlendirme protokolü

Benzetimde kullanılan Tasarsız Talep Üzerine Uzaklık Vektörü Kullanan Yönlendirme Protokolü (Ad Hoc on Demand Distance Vector – AODV) ağda bir hedefe gönderilmek üzere pakete sahip olduğu zaman harekete geçer. Daha önceden herhangi bir rota bulma işlemi gerçekleştirmez. İlk olarak ağda sadece her düğüm kendisine komşu olan düğümler ile haberleşebilir. Burada komşuluk ile ifade edilmek istenen şey, iki düğümün birbirleri arasında kesişen bir alanın olmasıdır. Her düğüm komşularıyla arasındaki bağlantı durumunu anlayabilmek için tüm komşularına Hello mesajı gönderir. Düğümler kendi komşularını bu Hello

mesajlarını dinleyerek bilir. Bir düğüm kendisine komşu olmayan başka bir düğüm ile haberleşmek istediği zaman yol kurma isteği paketini(RREQ) ağa sel şeklinde gönderir. Komşu düğüm, RREQ mesajını aldığı zaman iki tane durum vardır. İlk olarak, eğer RREQ mesajı içerisinde belirtilen hedefe giden rotayı biliyorsa RREQ mesajını yapan düğüme bu isteğe karşılık bir cevap mesajı (RREP) döner. Eğer hedef kendisi ise RREQ mesajını yapan düğüme RREP mesajı döner. İkinci durum ise, hedef rotayı bilmiyor veya hedef kendisi değilse, kendi komşularına RREQ mesajını sel şeklinde gönderir. Bu süreç hedef düğüme ulaşıncaya kadar ağdaki ara düğümler tarafından devam ettirilir. Sonuç olarak, gönderilen isteğe cevap olarak gelen ilk paketin geldiği yol kullanılarak haberleşmeye başlanır. Elde edilen yolların güncelliklerini tanımlamak için her yola bir sıra numarası verilir. Sıra numarası en büyük olan yol en güncel yol demektir. AODV’de paketlerin gönderileceği yol kaynakta belirlenmez. Bunun yerine kaynak düğüm ve her ara düğümden yalnızca bir sonraki düğümün adresi tutulur. Herhangi bir sorundan rota istenen hedef için kullanılabilir olmadığı zaman kaynak düğüm ağa bir yol kurma istek paketi gönderir [46]. Yol kurma istek paketinin yapısı şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. AODV’de RREQ paket yapısı

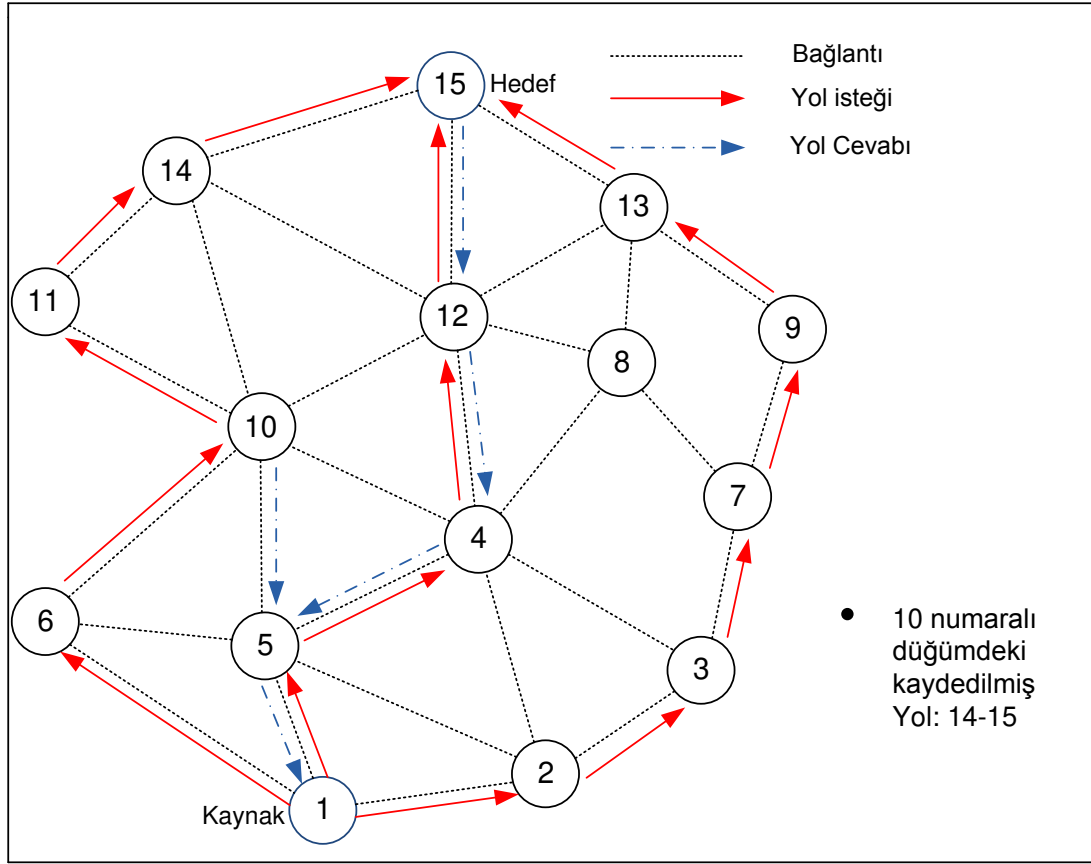
Bir yol istek mesajı’nda kaynak tanımlayıcı (Src ID), hedef tanımlayıcı (Dest ID), kaynak sıra numarası (SrcSeqNum), hedef sıra numarası (DestSeqNum), yayın tanımlayıcı (Bcast ID), ve yaşam süresi (TTL) alanları bulunur. DestSeqNum, kaynağın talep kabul ettiği yolun tazeliğini gösterir. Bir ara düğüm bir yol istek mesajı aldığı zaman bu mesajı ya komşularına iletir ya da hedefe doğru geçerli bir

yola sahipse bir yol cevap mesajı hazırlar. Ara düğümdeki yolun geçerliliği, ara düğümdeki sıra numarası ile yol istek mesajı paketinde yer alan DestSeqNum alanının karşılaştırılması ile elde edilir. Bcast ID ve Src ID alanları aynı olan birden fazla yol istek mesajı alınırsa, tekrar eden paketler var demektir ve fazla paketler yok edilir.

Hedefe doğru geçerli yollara sahip olan düğümler ya da hedefin kendisi kaynağa yol cevap mesajı yollayabilir. Her ara düğüm kendisine gelen yol istek mesajını yönlendirirken pakete önceki düğümün adresini ve kendi Bcast ID'sini girer. Bu sayede ara düğümde aktif bir yol kaydedilir ve kaynaktan yönlendirmeye gerek kalmaz. Bir ara düğüm yol cevap mesajı aldığı zaman, kendisine mesajı gönderen düğümü, hedefe giden bir sonraki atlama noktası olarak kaydeder. Şekil 3.2'de 1 numaralı düğüm kaynak düğüm olarak 15 numaralı hedef düğüm için bir yol istek mesajını tüm komşularına sel şeklinde gönderir.

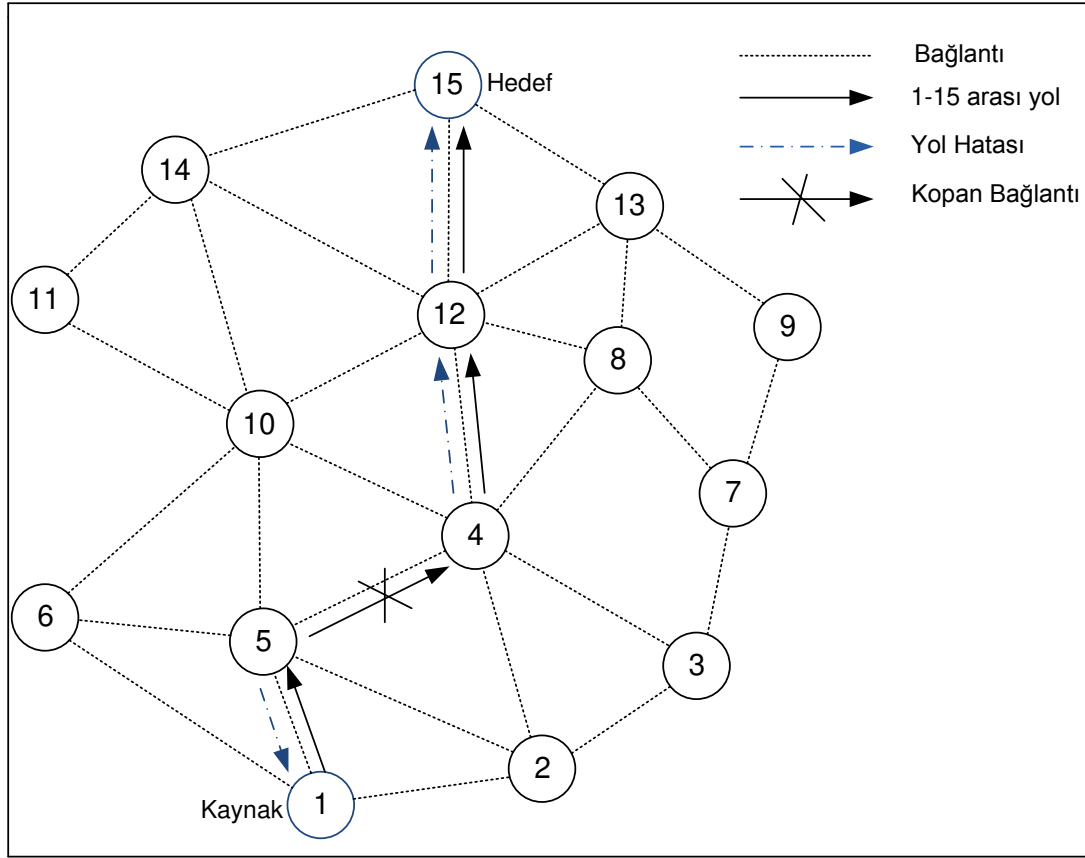
Yol istek mesajının DestSeqNum değerinin 3 olduğu ve SrcSeqNum değerinin 1 olduğu kabul edilmektedir. 2, 5 ve 6 numaralı düğümler yol istek mesajını aldıkları zaman hedefe doğru olan yollarını kontrol ederler. Hedefe doğru bir yolları yoksa, yol istek mesajını komşularına iletirler. 3 ve 10 numaralı düğümlerin hedefe doğru daha önceden kaydedilmiş yol bilgileri olduğunu ve 3 numaralı düğümdeki DestSeqID değerinin 1, 10 numaralı düğümdeki DestSeqID değerinin 4 olduğunu varsayalım. Kaynaktan belirtilen DestSeqID değeri 3 olduğu için yalnızca 10 numaralı düğümdeki yol kabul edilebilir durumdadır. Hedef düğüme bir başka düğüm üzerinden de ulaşılabiliriyorsa (bu örnekte 4 numaralı düğüm) hedef düğüm kaynak düğüme yol cevap mesajı gönderir. Bir yol istek mesajı ile birden fazla yol bulunabilir. Bu yollardan en kısa olan seçilir. AODV kopan bir bağlantıyı yerel olarak onaramaz.

Bağlantı koptuğu zaman, kopukluğun olduğu yerdeki düğümler kaynak ve hedef düğümleri sonsuz atlama sayısına sahip yol hata mesajı ile bilgilendirir. Bu mesajı alan kaynak ve hedef düğümler ilgili girişleri silerler. Kaynak düğüm, hedefe giden bir başka yol bulabilmek için yeni bir yol istek mesajı yayınlar.



Şekil 3.2. AODV yol kurma

Şekil 3.3’de 4 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğümler arasındaki bağlantı koptuğu zaman kaynak ve hedef düğümleri bilgilendirmek adına 4 ve 5 numaralı düğümler tarafından yol hata mesajı oluşturulur ve ilgili düğümlere yollanır. Kaynak düğüm yeni bir BcastID ile önceki DestSeqID ile yol bulma işlemini yeniden başlatır [46].

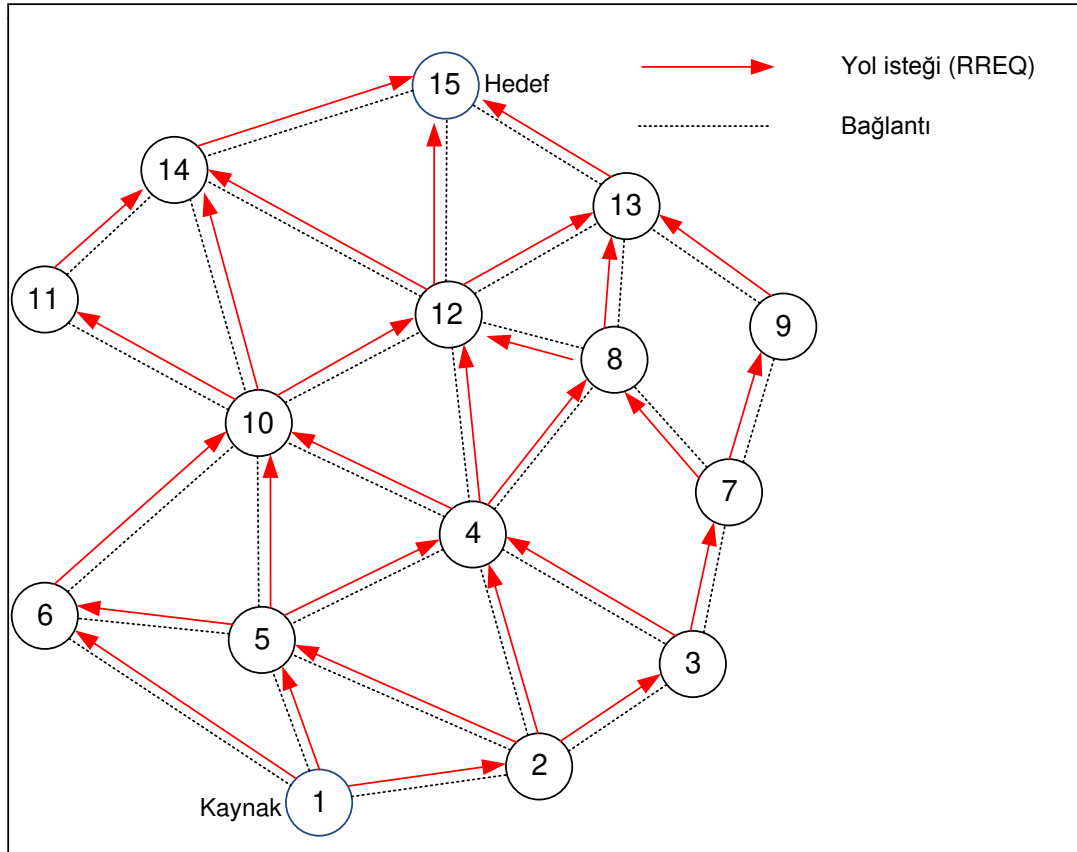


Şekil 3.3. AODV’de yol hatası

3.3.4. Benzetimde kullanılan AOMDV yönlendirme protokolü

Benzetimde kullanılan Tasarsız Talep Üzerine Çoklu Yol Uzaklık Vektörü Kullanan Yönlendirme Protokolü (Ad Hoc on Demand Distance Vector – AOMDV) AODV protokolünden türetilmiştir. AOMDV protokolü AODV’nin bir çok karakteristik özelliğini içinde barındırır. AOMDV’deki ana mantık rota keşfi süresince birden fazla yolun hesabını yapmasıdır. Hareketliliğin oldukça fazla olmasından dolayı rota ve düğümdeki bağlantı kopmalarının çok yoğun yaşandığı tasarsız ağlar için tasarlanmıştır. AODV gibi istek üzerine tek bir rota getiren talep üzerine harekete geçen yönlendirme protokolleri bu tip ağlarda kullanıldığı zaman, her bir bağlantı kopması için yeni bir rota isteme gereksinimine ihtiyaç duyulur. Her bir rota keşfi yüksek oranda ek paket yükü ve gecikme getirir. Bu verimsizlik bir çok yedek rotaya sahip olunarak giderilebilir. AOMDV protokolü iki ana bileşene sahiptir. Bunlar her

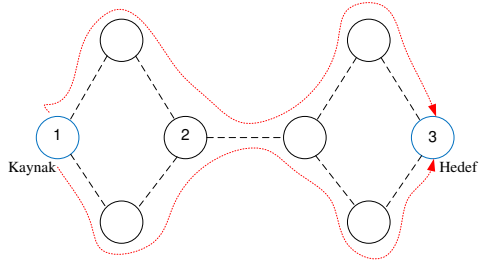
bir düğümde bir çok boş döngü kurma ve saklama için rota güncelleme işlemi ve ayrık bağlantı yollarını bulmak için yapılan işlemler dizisidir. AOMDV’de yol kurma işlemi yaklaşımı AODV’deki ile aynıdır. Şekil 3.4’de tıpkı AODV’de olduğu gibi AOMDV’de yol bulma isteği paketleri (RREQ) ağa sel şeklinde gönderilir. Örneğin, 1 nolu kaynak düğüm, 15 nolu hedef düğüme gitmek için yol bulma isteği gönderdiğinde, 5 nolu düğüm eğer gidilecek rotayı bilmiyorsa kendisine gelen bu istek paketini tüm komşularına iletir. Bu hedef düğüme ulaşınca ya da cevabı bilen bir düğüme rastlayınca ya da devam eder. Buraya kadar olan herşey AODV protokolü ile aynıdır.



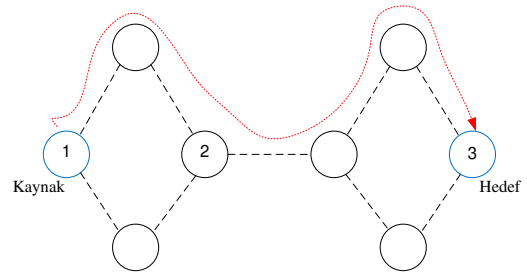
Şekil 3.4. AOMDV’de yol kurma isteği

Şekil 3.5’de ise yapılan isteğe karşılık dönen cevap paketlerinden dolayı oluşan rotalar gösterilmiştir. AODV’de dönen tüm cevaplar arasından sadece bir tanesi rota olarak saklanıp diğer rotalar göz önünde bulundurulmamaktadır. AOMDV

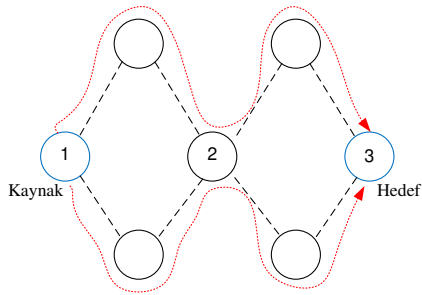
üzerindeki tüm düğümler farklı komşular kullanarak rotayı oluşturmuşlardır. Bu yüzden sonsuz döngü oluşması mümkün değildir.



Şekil 3.7. Ayırık yola aykırı topoloji



Şekil 3.8. Seçilen tek rota



Şekil 3.9. Ayırık yol yaklaşımına uygun topoloji ve seçilen ayırık yollar

3.3.5. Benzetim metodolojisi

Benzetimde kullanılacak düğüm sayısı, veri trafiğinin miktarı, veri paketlerinin boyutu, paketlerin sinyal seviyeleri ve link kapasite gibi değerler burada belirlenmektedir. Eklenerek yeni düğümler, paket boyutlarında yapılacak değişiklikler gibi kullanılacak birçok nesnenin değerleri değiştirilerek yeni senaryolar elde edilebilmektedir. Bu sayede yönlendirme algoritmasının farklı senaryolarda farklı standart yönlendirme protokol kullanımları, bunların nasıl çalıştığı ve grafiksel çıktıları görülebilmektedir. Böylece, önerilen protokolün farklı senaryolarda nasıl çalıştığını görmek mümkün olmaktadır.

3.3.6. Performans ölçütleri

Kablosuz hareketli ad-hoc ağlar, kablosuz örgü ağlar gibi kablosuz bir çok ağ mimarisinde kullanılan yönlendirme protokollerinin performanslarını değerlendirmek için literatürde yaygın olarak kullanılan üç parametre vardır [46]. Bunlar:

Paket Dağıtım Oranı: Uygulama katmanının Constraint Based Routing (CBR) kaynakları tarafından oluşturulan paket sayısı ile son hedefteki CBR havuzu tarafından alınan paket sayısı arasındaki orandır.

Paket Kayıp Oranı : Uygulama katmanında oluşturulan herhangi tipte bir trafiğin paketleri öncelikle düğümlerin kuyruğuna alınır. Bu kuyruktaki paketler rota olmaması ve ya kuyruk taşması gibi nedenlerden dolayı kuyruktan atılabilir. Bunun sonucunda iletişimde eksiklikler meydana getirir. Paket kayıp oranı ne kadar az ise yönlendirme protokolü o kadar verimli olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Yönlendirme Yüğü: Benzetim boyunca iletilen yönlendirme paketlerinin toplam sayısıdır.

Ortalama Gecikme: Kaynak düğümde IP katmanına bir veri paketi verildiği zaman ile hedefin IP katmanına paketin ulaştığı zaman arasındaki ortalama gecikme süresidir.

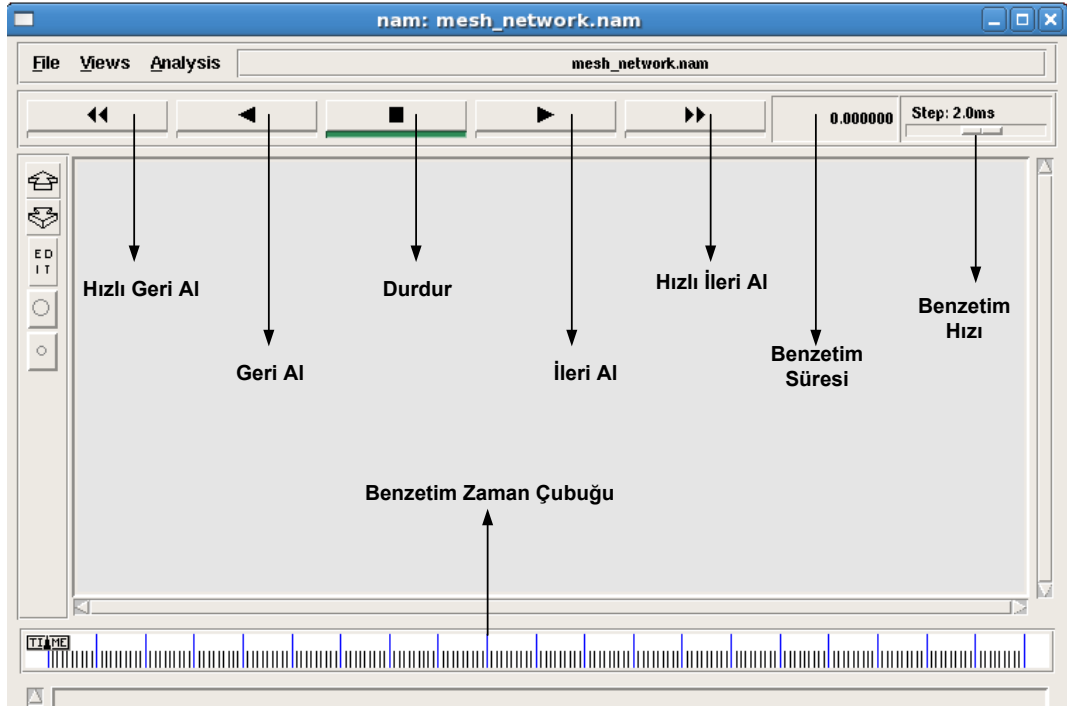
Paket dağıtım oranı önemli bir ölçüttür. Ağ katmanının en üstünde çalışan iletim protokolleri tarafından anlaşılacak kayıp oranını tanımlar. Böylece paket dağıtım oranı ağın destekleyebileceği maksimum işlem hacmini dolaylı olarak gösterir. Paket kayıp oranıda bu parametrelere bakılarak bulunur. Kaynakta üretilen toplam paket sayısından hedefte alınan toplam paket sayısı arasındaki fark paket kayıp oranını verir. Paket dağıtım oranı dolayısıyla paket kayıp oranı kablosuz bir ağ mimarisinde yönlendirme protokolünün performans değerlendirmesi için önemli bir ölçüt oluşturur; çünkü verilen benzer senaryolarda kaynak ile hedef arasında kaybedilen

paketler yönlendirme için kullanılan rotanın etkinliğine bağlıdır. Rota etkinliği ise dolaylı olarak bir kablosuz örgü ağ senaryosu içinde temel yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğuna bağlıdır [46].

Ortalama gecikme bir veri paketinin kaynak düğümden gönderilip hedef düğümde alınmasına kadar geçen süredir. Bu ölçüt sel yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğunun bir ölçümüdür, çünkü her şeyden önce gecikme seçilen yolun en iyiliğine, arayüz kuyruklarının yaşadıkları gecikmelerine ve çarpışmalar yüzünden olan fiziksel katmandaki yeniden iletimlerin neden olduğu gecikmeye bağlıdır [46].

3.3.7. Gerçekleştirilen benzetim

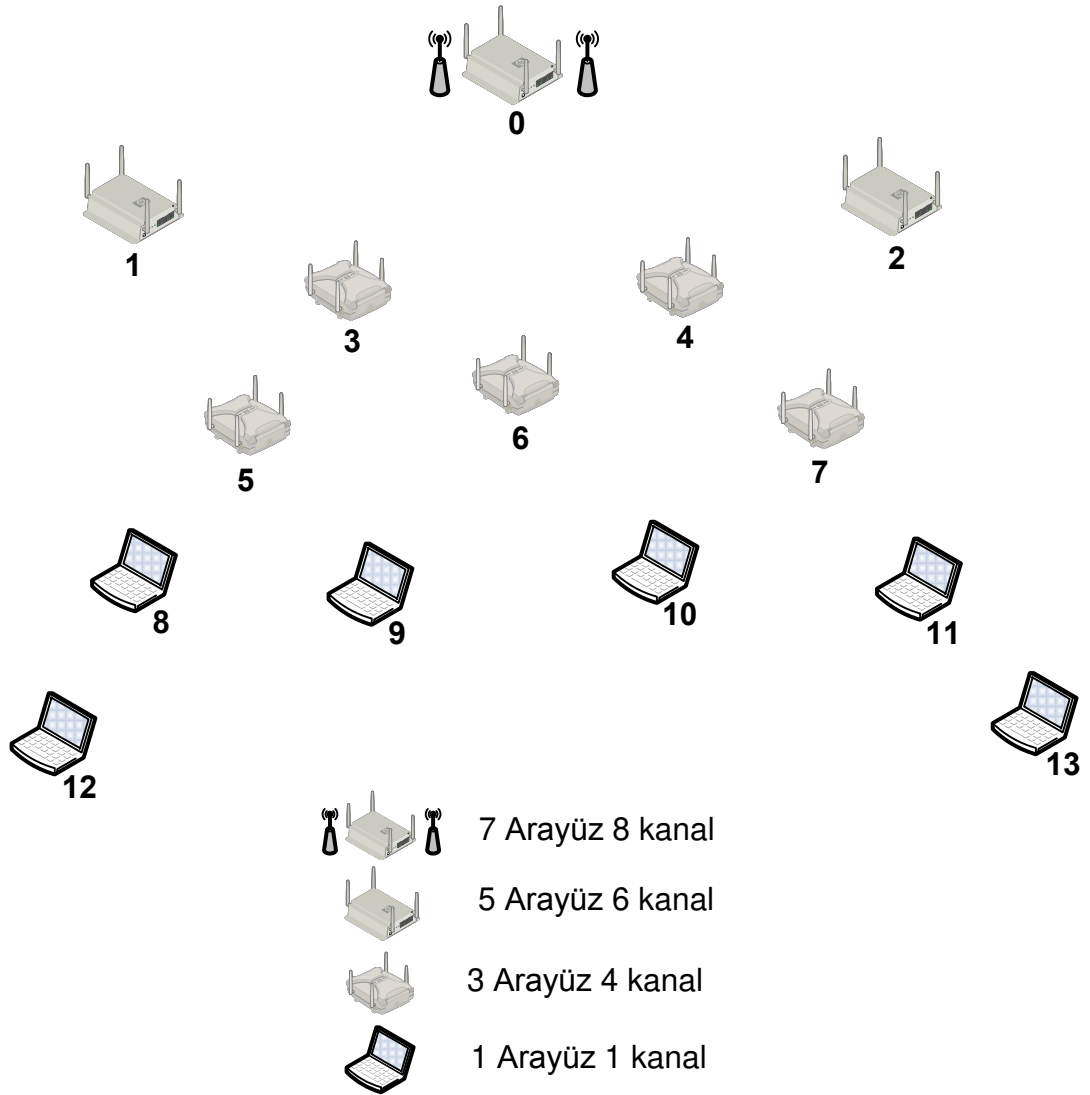
ns-2 ile gerçekleştirilen benzetimler sonucunda meydana gelen ağ yapısını ve trafiği görebilmek için uzantısı “nam” olan bir takip dosyası üretilir. Bu dosyada, benzetimde belirtilen zaman aralıklarında benzetimde gerçekleşen olayların kayıtları tutulur. Bu yapı ns-2 içerisinde gömülü olarak gelen Tk script dili sayesinde olmaktadır ve düğümlerin hareketlerini ve yaptığı işlemleri görsel olarak izleme imkanı sunar. Örnek olarak; iletilen paketlerin, atılan paketlerin hangi sürelerde gerçekleştikleri, bağlantıların hangi sürelerde koptukları, düğümler hareketli ise düğümlerin hangi hızda nereden nereye doğru hareket ettikleri gibi bilgiler bu dosyada yer alır. Network Animator (nam) olarak isimlendirilen yardımcı bir program bu dosyaları okuyarak görsel hale getirir. Nam programının ekran görüntüsü ve programda yer alan düğmelerin ne işe yaradıkları da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Nam programının ekran görüntüsü

Geliştirilen protokolü test etmek için iki adet senaryo üretilmiştir. Benzetim ortamına aktarılan senaryolarda kullanılan bilgisayarlardan düğüm olarak bahsedilmektedir. Bu senaryolar birbirlerinden farklı arayüz ve kanal sayılarına sahip düğümler ve eşdeğer kanal ve arayüz sayılarına sahip olan olan düğümlerin beraber kullanıldığı heterojen yapılardan oluşur.

İlk senaryo, genel bir kablosuz örgü ağ mimarisinin yapısını gösteren Şekil 2.3’dekine benzer bir yapıdır. Benzetim ortamına aktarılan senaryoda 14 tane düğüm kullanılmış ve bu düğümlerden 4 tanesi kaynak, 1 tanesi hedef olarak haberleştirilmiştir. Bu düğümlerden 1 tanesinde 7 tane arayüz 8 tane kanal, 2 tanesinde 5 tane arayüz 6 tane kanal, 5 tanesinde 3 tane arayüz 4 tane kanal ve 6 tanesinde 1 tane arayüz 1 tane kanal ile donatılmıştır. İlk senaryo için oluşturulan temsili görünüş Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. İlk senaryonun temsili görünümü

9, 12 ve 13 nolu düğümler benzetim boyunca Şekil 3.12’de okla gösterildiği şekilde hareket halindedir. 5 ve 4 nolu düğümler benzetim süresinin ortalarında topolojiden çıkarılmıştır. Diğer düğümler sabit durmaktadır. Bu durumun temsili görünümü Şekil 3.12’da gösterilmiştir. Kablosuz örgü ağlarda düğümlerin hareketlilik omurga tarafında yokken, uç noktalarda düğümlerin hareketliliği oldukça fazla olabilir. Bu yüzden, bu mimari göz önünde bulundurularak benzetimde bu model kullanılmıştır. İlk senaryo için oluşturulan her bir düğümün oluşturulma parametreleri aşağıda gösterilmiştir.

```

set val(chan)      Channel/WirelessChannel      ;#kanal tipi
set val(prop)      Propagation/TwoRayGround      ;#radio-yayılım modeli
set val(netif)     Phy/WirelessPhy              ;#ağ arayüz tipi
set val(mac)       Mac/802_11                  ;#MAC tipi
set val(ifq)       Queue/DropTail/PriQueue      ;#arayüz kuyruk tipi
set val(ll)        LL                          ;#veri-bağı katman tipi
set val(ant)       Antenna/OmniAntenna          ;#anten tipi
set val(ifqlen)    50                          ;#Max. kuyruk uzunluğu
set val(ni)        9                           ;#Arayüz sayısı
set val(nn)        14                          ;#düğümlerin sayısı
set val(rp)        AODV                        ;#yönlendirme protokolü
set val(x)         1000                        ;#benzetim alanı X boyutu
set val(y)         1000                        ;#benzetim alanı Y boyutu
set val(stop)      60                          ;#benzetim süresi

```

Senaryoda 9, 10, 11 ve 12 nolu düğümler 1 nolu düğüme paket göndermektedir. Yukarıdaki (ni) parametresi bir düğüm oluştuğunda varsayılan olarak 9 tane arayüze sahip olduğunu ifade etmektedir. 4 farklı kanal ve arayüze sahip düğümlerin arayüz ve kanal sayısını değiştirmek için kullanılan Otcl kodu aşağıdaki gibidir.

```

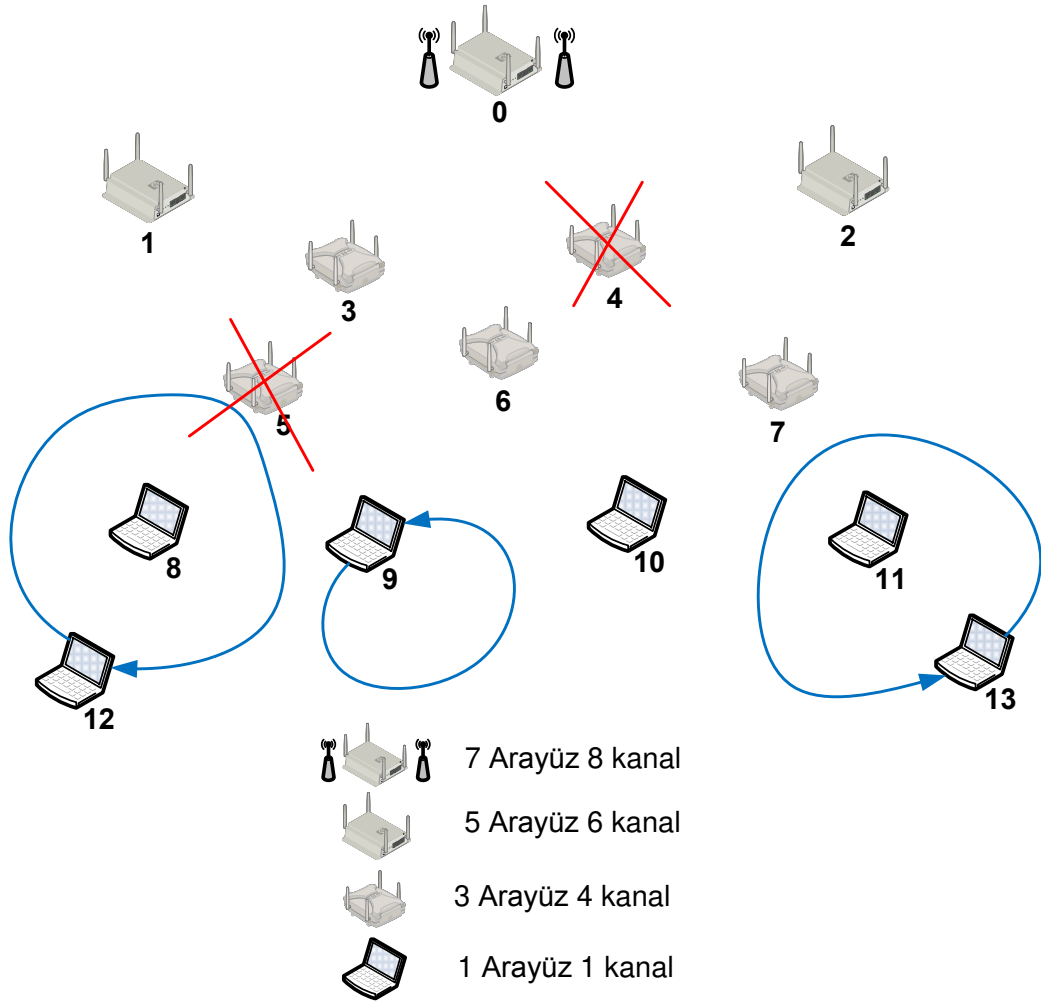
$ns_ change-numifs 7
$ns_ add-channel 1 $chan_(1)
$ns_ add-channel 2 $chan_(2)
$ns_ add-channel 3 $chan_(3)
$ns_ add-channel 4 $chan_(4)
$ns_ add-channel 5 $chan_(5)
$ns_ add-channel 6 $chan_(6)
$ns_ add-channel 7 $chan_(7)
$ns_ add-channel 8 $chan_(8)
set node_(0) [$ns_ node]
$node_(0) random-motion 0

$ns_ change-numifs 5
$ns_ add-channel 1 $chan_(1)
$ns_ add-channel 2 $chan_(2)
$ns_ add-channel 3 $chan_(3)
$ns_ add-channel 4 $chan_(4)
$ns_ add-channel 5 $chan_(5)
$ns_ add-channel 6 $chan_(6)
set node_(1) [$ns_ node]
$node_(1) random-motion 0

$ns_ change-numifs 3
$ns_ add-channel 1 $chan_(1)
$ns_ add-channel 2 $chan_(2)
$ns_ add-channel 3 $chan_(3)
$ns_ add-channel 4 $chan_(4)
set node_(3) [$ns_ node]
$node_(3) random-motion 0

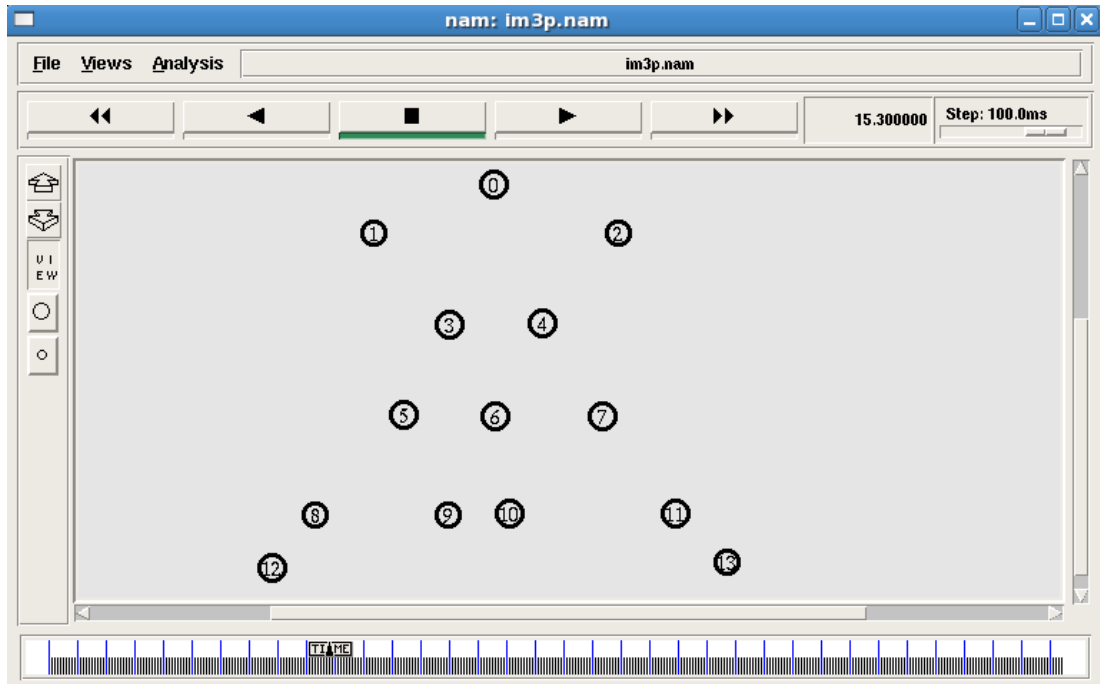
$ns_ change-numifs 1
set node_(8) [$ns_ node]
$node_(8) random-motion 0

```



Şekil 3.12. İlk senaryonun ikinci durumu temsili görünümü

Senaryoda 9, 10, 11 ve 12 nolu düğümler 1 nolu düğüme paket göndermektedir. Paketlerini gönderirken 5 ve 4 nolu düğümler üzerinden paket geçişi olmaktadır. Senaryonun devamında bu düğümler topolojiden çıkartılınca paketlerin iletilmesi başka düğümler üzerinden olmaktadır.



Şekil 3.13. Benzetimde kullanılan topoloji

Gerçekleştirilen benzetimde oluşturulan düğümler öncelikle geçiş noktalarının tespitini yapmaktadır. Düğümler arasından iki tanesini geçiş noktası olarak tespit edilir. Kaynak düğümler gönderdikleri yol istek mesajları ile hedefe gidecek yolu temin etmektedirler ve yeni topoloji tablolarını oluşturmaktadırlar. Bunun için, kaynak düğümler yol istek paketlerini sel biçiminde ağa yollarlar. Bu isteğe dönen cevaplara göre kaynak-geçiş noktası arasındaki rotalardan en iyi olanı yönlendirme tablosuna diğer rotalar geçiş tablosuna kaydedilir. Kaynak-geçiş noktası düğüm çiftlerinin dışında kalan düğümler arasındaki rotalar için gelen cevaplardan sadece en iyi olan rota yönlendirme tablosuna eklenirken, bunun dışında gelen rota bilgileri düşürülür. Topolojide 9, 12 ve 13 nolu düğümler hareket halindedir. Bu düğümlere hareketlilik kazandırmak için yazılan Otel kodu aşağıda verilmektedir.

```
$ns_ at 50.0 "$node_(9) setdest 300.0 1.0 50.0"
$ns_ at 55.0 "$node_(9) setdest 500.0 1.0 50.0"
$ns_ at 15.0 "$node_(12) setdest 175.0 1.0 50.0"
$ns_ at 22.0 "$node_(12) setdest 175.0 175.0 50.0"
$ns_ at 26.0 "$node_(12) setdest 1.0 175.0 50.0"
$ns_ at 30.0 "$node_(12) setdest 1.0 1.0 50.0"
$ns_ at 35.0 "$node_(12) setdest 175.0 1.0 50.0"
$ns_ at 40.0 "$node_(12) setdest 175.0 175.0 50.0"
```

```

$ns_ at 15.0 "$node_(13) setdest 749.0 175.0 50.0"
$ns_ at 22.0 "$node_(13) setdest 550.0 175.0 50.0"
$ns_ at 26.0 "$node_(13) setdest 550.0 1.0 50.0"
$ns_ at 30.0 "$node_(13) setdest 749.0 1.0 50.0"
$ns_ at 35.0 "$node_(13) setdest 749.0 175.0 50.0"
$ns_ at 40.0 "$node_(13) setdest 550.0 175.0 50.0"

```

Veri trafiğini yaratmak için uygulama katmanında FTP (File Transfer Protocol) kullanılmıştır. 9, 10, 11 ve 12 nolu düğümlerin oluşturduğu trafik benzetimin 20.0 saniyesinde başlar ve 29.0 saniyede sonlanır. Daha sonra tekrar aynı düğümlerden 39.0 saniyede başlayıp 49.0 saniyede bitmektedir. Bu trafiği yaratan Otel kodu aşağıdadır.

```

# TCP connections between node_(10) and node_(0)
set tcp [new Agent/TCP]
#$tcp set class_ 2
set sink [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_(10) $tcp
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink
$ns_ connect $tcp $sink

set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ns_ at 20.0 "$ftp start"
$ns_ at 29.0 "$ftp stop"
$ns_ at 39.0 "$ftp start"
$ns_ at 49.0 "$ftp stop"

# TCP connections between node_(9) and node_(0)
set tcp1 [new Agent/TCP]
#$tcp1 set class_ 2
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_(9) $tcp1
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink1
$ns_ connect $tcp1 $sink1

set ftp1 [new Application/FTP]
$ftp1 attach-agent $tcp1
$ns_ at 20.0 "$ftp1 start"
$ns_ at 29.0 "$ftp1 stop"
$ns_ at 39.0 "$ftp1 start"
$ns_ at 49.0 "$ftp1 stop"

# TCP connections between node_(11) and node_(0)
set tcp2 [new Agent/TCP]
#$tcp2 set class_ 2
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_(11) $tcp2
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink2

```



```

$ns_ connect $tcp2 $sink2
set ftp2 [new Application/FTP]
$ftp2 attach-agent $tcp2
$ns_ at 20.0 "$ftp2 start"
$ns_ at 29.0 "$ftp2 stop"
$ns_ at 39.0 "$ftp start"
$ns_ at 49.0 "$ftp stop"

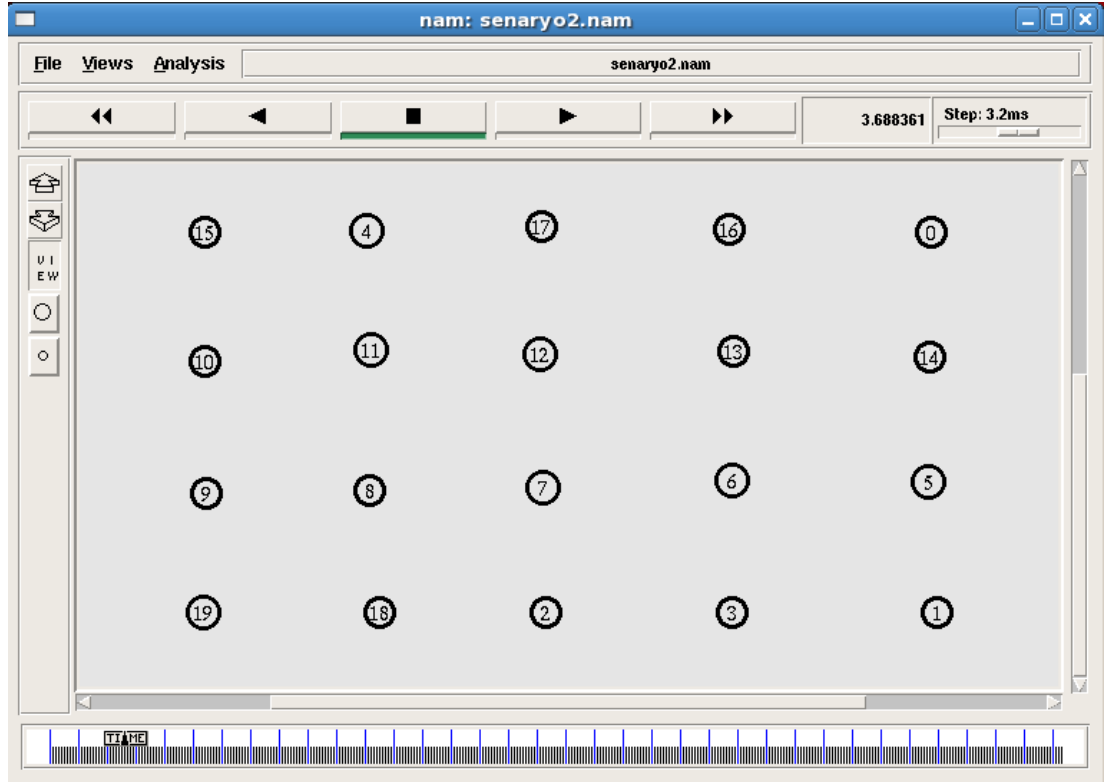
# TCP connections between node_(12) and node_(0)
set tcp3 [new Agent/TCP]
#$tcp set class_ 2
set sink3 [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_(12) $tcp3
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink3
$ns_ connect $tcp3 $sink3

set ftp3 [new Application/FTP]
$ftp3 attach-agent $tcp3
$ns_ at 20.0 "$ftp3 start"
$ns_ at 29.0 "$ftp3 stop"
$ns_ at 39.0 "$ftp1 start"
$ns_ at 49.0 "$ftp1 stop"

```

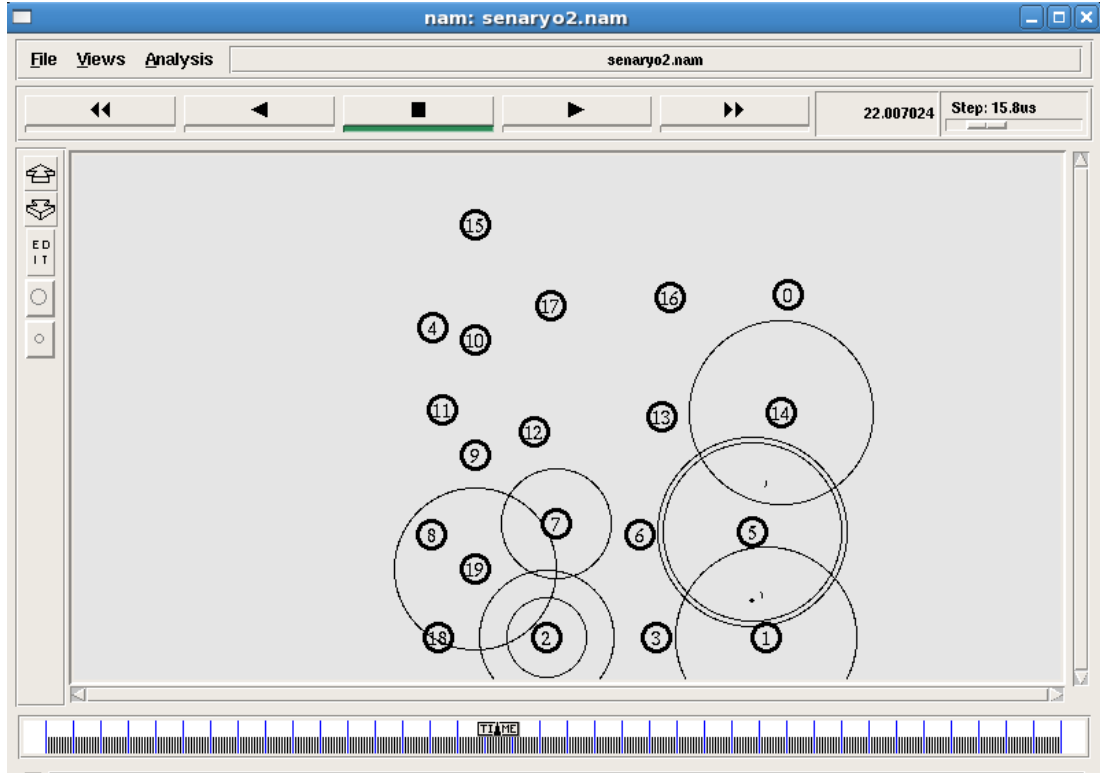
Topolojisi, trafiği ve parametreleri belirlenen bu ilk senaryo kullanılarak geliştirilen protokol literatürde yer alan AODV ve AOMDV protokolleri ile karşılaştırılarak verimliliği ölçülmüştür. Alınan grafiksel veriler deneysel sonuçlar kısmında sunulmuştur.

İkinci senaryoda 20 adet düğüm kullanılmıştır. Benzetim ortamına aktarılan senaryoda 20 tane düğümden 2 tanesi kaynak, 2 tanesi hedef olarak haberleştirilmiştir. Bu düğümlerden 2 tanesinde 7 tane arayüz 8 tane kanal, 10 tanesinde 3 tane arayüz 4 tane kanal, 4 tanesinde 2 tane arayüz 3 tane kanal ve 4 tanesinde 1 tane arayüz 1 tane kanal ile donatılmıştır. İkinci senaryo için oluşturulan temsili görünüş Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. İkinci benzetimde kullanılan topoloji

Benzetimde oluşturulan trafiğin başlatılması ile düğümler paketlerini hedeflerine göndermeye başlamışlardır. Bu sırada rotada meydana gelen herhangi bir bağlantı kaybı, yada rota aranması sırasındaki gecikmeden dolayı paketlerin düğümün kuyruğunu doldurması sonra daha fazla paket gelmesi sonucunda paketler düşürülmeye başlanır. Şekil 3.15’de ikinci senaryoda trafiğin başlamasından sonraki durum gösterilmektedir.



Şekil 3.15. İkinci benzetimde trafiğin başlaması

İkinci senaryoda 19 nolu düğüm 0 nolu düğüme ve 10 nolu düğüm 1 nolu düğüme 20 ile 29. saniyeler arasında bir FTP trafiği başlatmaktadır. Daha sonra aynı düğümler paket göndermeyi 10 saniye durdurarak bu sefer 39 ile 49. Saniyeler arasında başka bir FTP trafiği başlatmışlardır. Ayrıca topolojide 7 ve 12 nolu düğümler benzetimin 30. Saniyesinde topolojiden ayrılmaya başlamışlardır. Bununla beraber, 9, 10, 15 ve 19 nolu düğümler hareket halindedir. Benzetimdeki düğüm hareket etmemektedir. Topolojide her düğümü konfigüre eden Otcl kodu aşağıda verilmiştir.

```

set val(chan) Channel/WirelessChannel ;#kanal tipi
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;#radio-yayılım modeli
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;#ağ arayüz tipi
set val(mac) Mac/802_11 ;#MAC tipi
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;#arayüz kuyruk tipi
set val(ll) LL ;#veri-başı katman tipi
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;#anten tipi
set val(ifqlen) 50 ;#Max. kuyruk uzunluğu
set val(ni) 9 ;#Arayüz sayısı
set val(nn) 20 ;#düğümlerin sayısı
set val(rp) AODV ;#yönlendirme protokolü
set val(x) 1000 ;#benzetim alanı X boyutu
set val(y) 1000 ;#benzetim alanı Y boyutu
set val(stop) 60 ;#benzetim süresi

```

```

$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel $chan_(0) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF \
    -ifNum $val(ni)

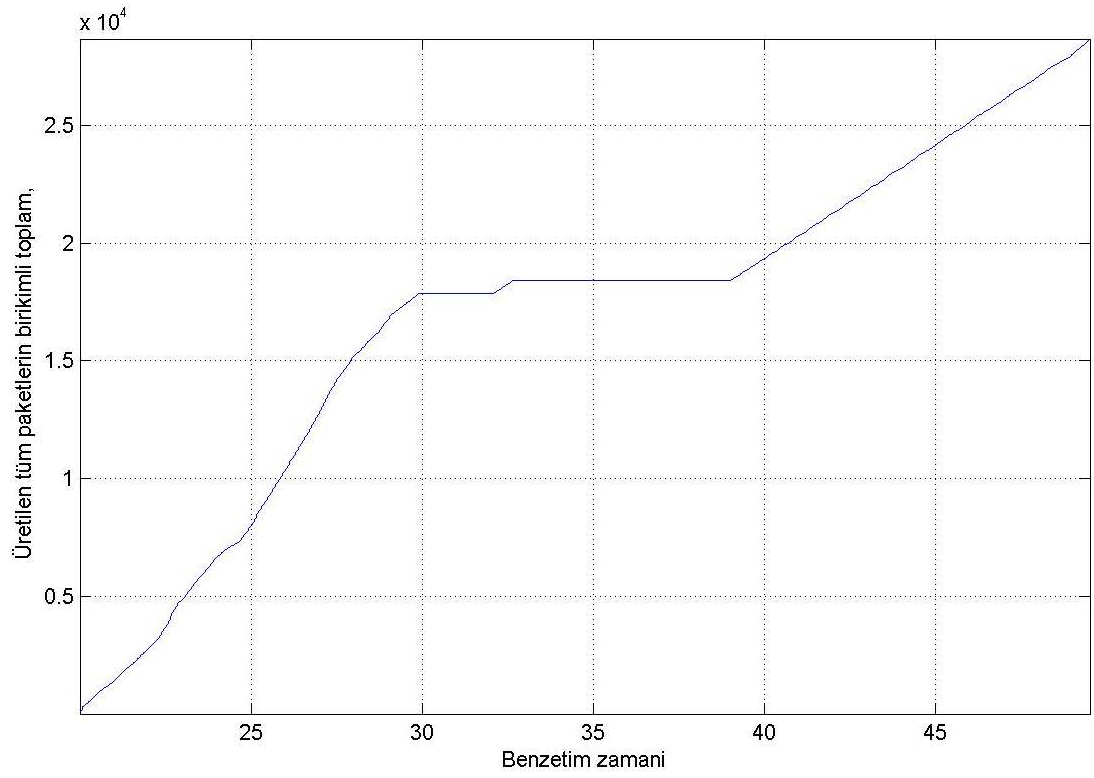
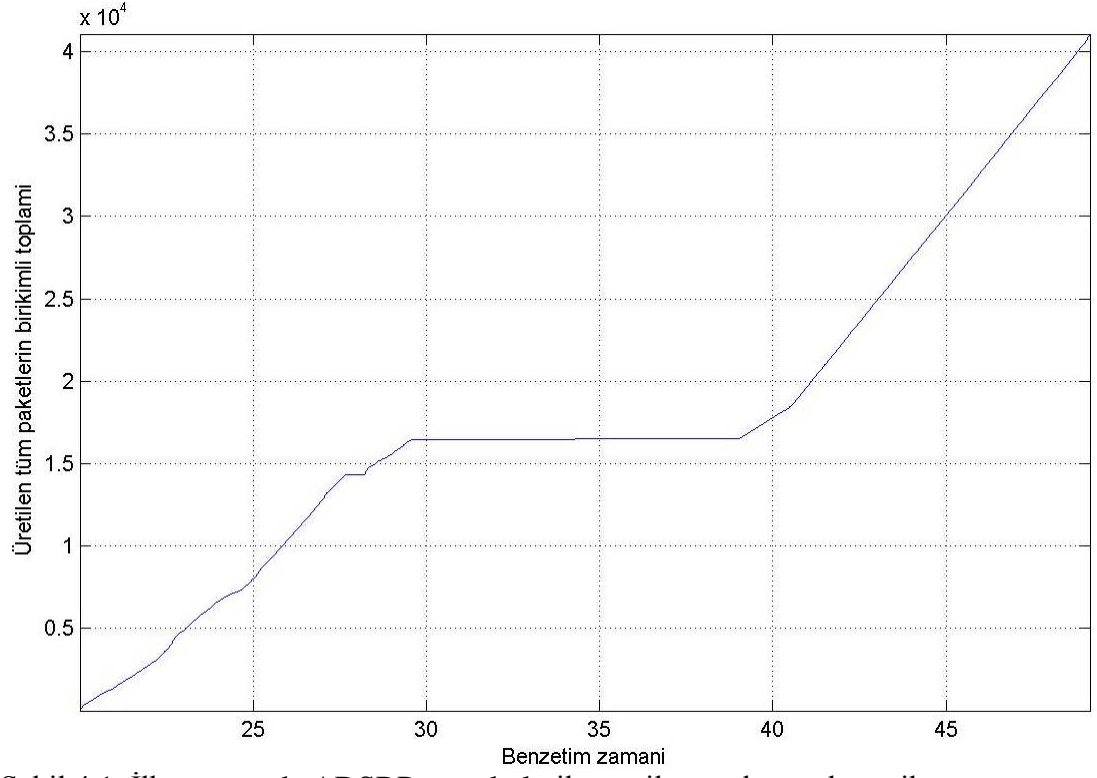
```

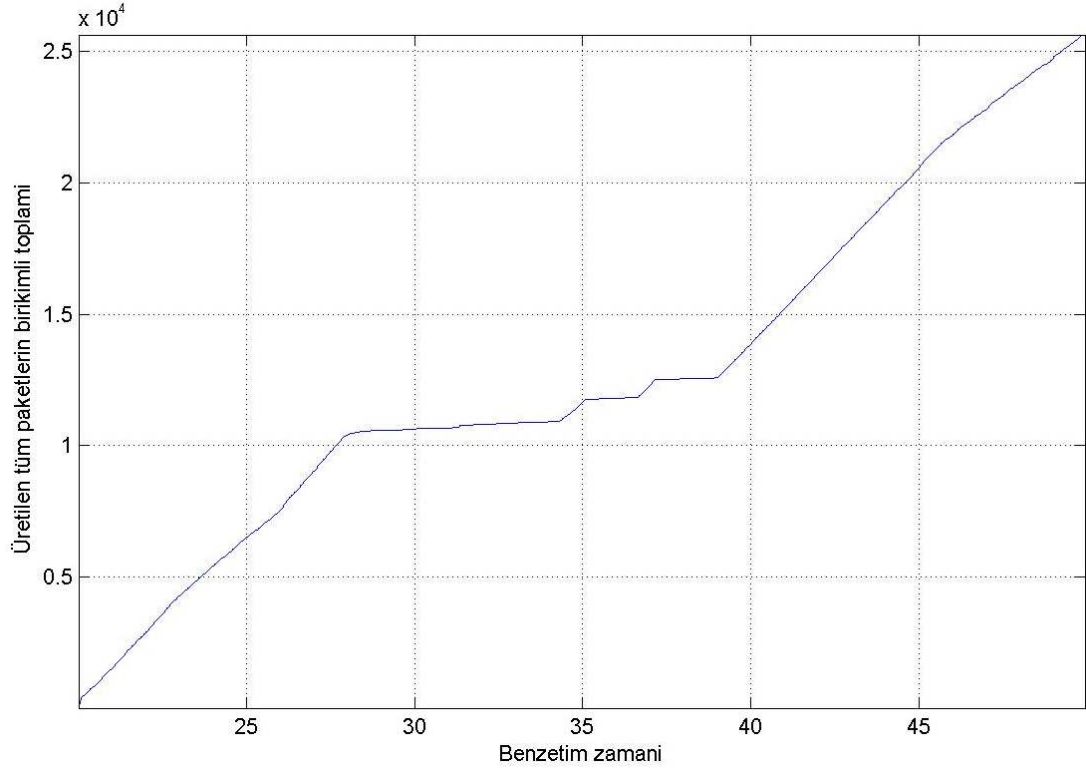
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

ADSRP protokolünün verimliliği literatürde yer alan AODV ve AOMDV protokolleri ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Test sonrası elde edilen grafiksel veriler senaryolara göre sınıflandırılarak sunulmuştur. Grafiksel sonuçlar ns-2'nun ürettiği tr uzantılı dosyanın tracegraph adı verilen araç ile çalıştırılması sonucu elde edilmiştir.

4.1. İlk Senaryodan Elde Edilen Sonuçlar

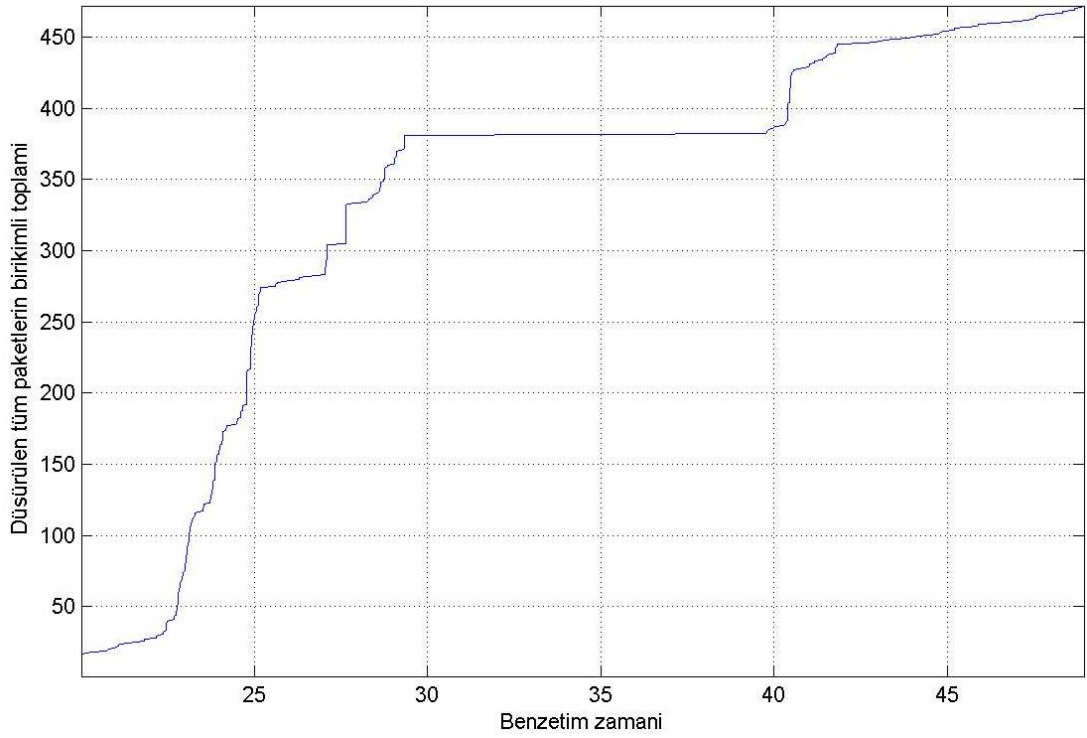
Şekil 4.1'de ADSRP protokolünün ürettiği toplam paket miktarının birikimli şekilde toplanması ile elde edilen sonuç gösterilmiştir. Örneğin benzetim 30. saniyesinde üretilen toplam paket miktarı yaklaşık olarak 16000 civarında olmuştur. Senaryoda 29. ve 39. saniyeler arasında herhangi bir paket akışı olmamıştır. Şekil 4.2.'de ise aynı şartlarda AODV ve Şekil 4.3 AOMDV protokollerinin ürettiği toplam paket miktarının birikimli şekilde toplanması ile elde edilen sonuç gösterilmiştir.





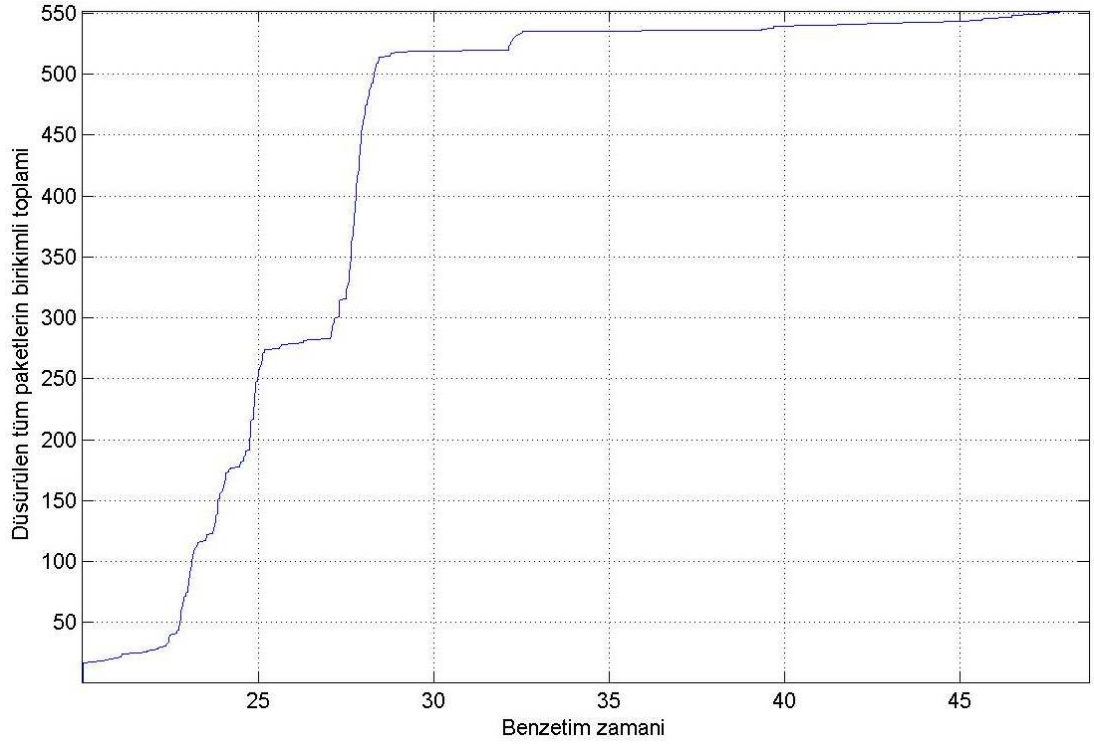
Şekil 4.3. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı

Şekil 4.4’de geliştirilen protokolün düşürdüğü toplam paket miktarının birikimli şekilde toplanması ile elde edilen sonuç gösterilmiştir. Zamana göre düşürülen birikimli toplam paket sayısını gösteren grafik incelendiğinde geliştirilen protokolün toplamda 460 civarında paket düşürdüğü görülmektedir. En fazla paket kaybı 30. saniyeye kadar olmuştur. Ondan sonraki sürelerde paket düşürme miktarı azalmıştır.

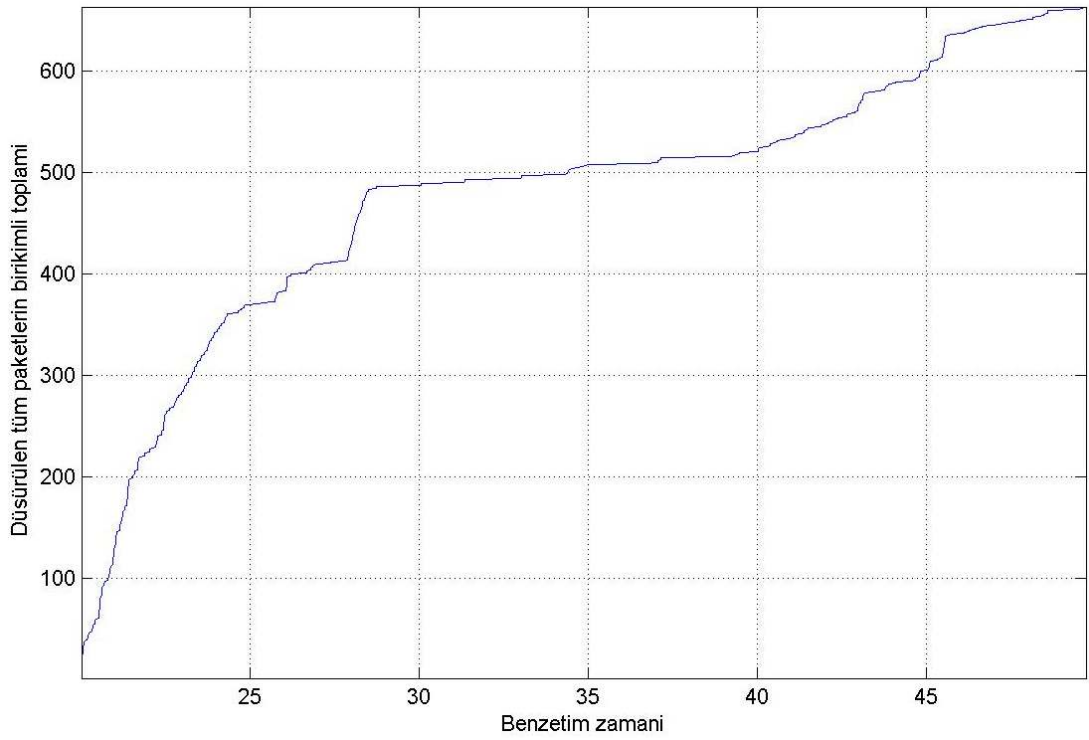


Şekil 4.4. İlk senaryoda ADSRP protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı

Şekil 4.5’de AODV ve Şekil 7.6’da AOMDV protokolün düşürdüğü toplam paket miktarının birikimli şekilde toplanması ile elde edilen sonuç gösterilmiştir. Zamana göre düşürülen birikimli toplam paket sayısını gösteren grafik incelendiğinde AODV protokolünün toplamda 550, AOMDV protokolünde toplamda 640 civarında paket düşürmüştür.

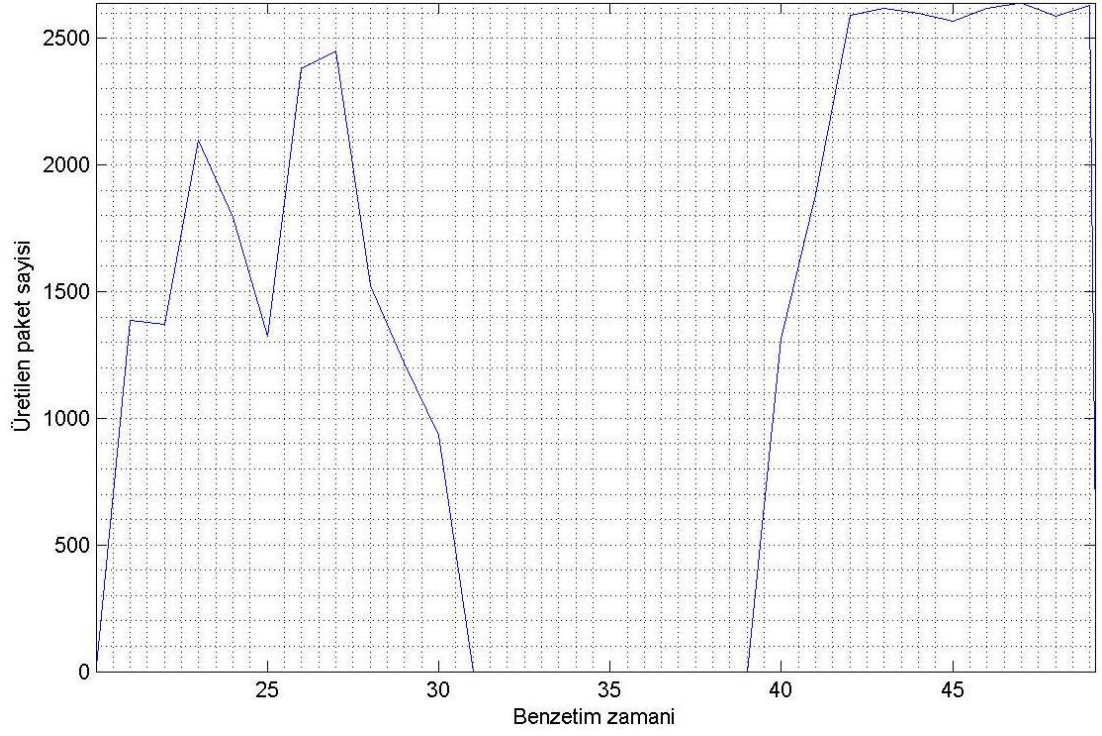


Şekil 4.5. İlk senaryoda AODV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı

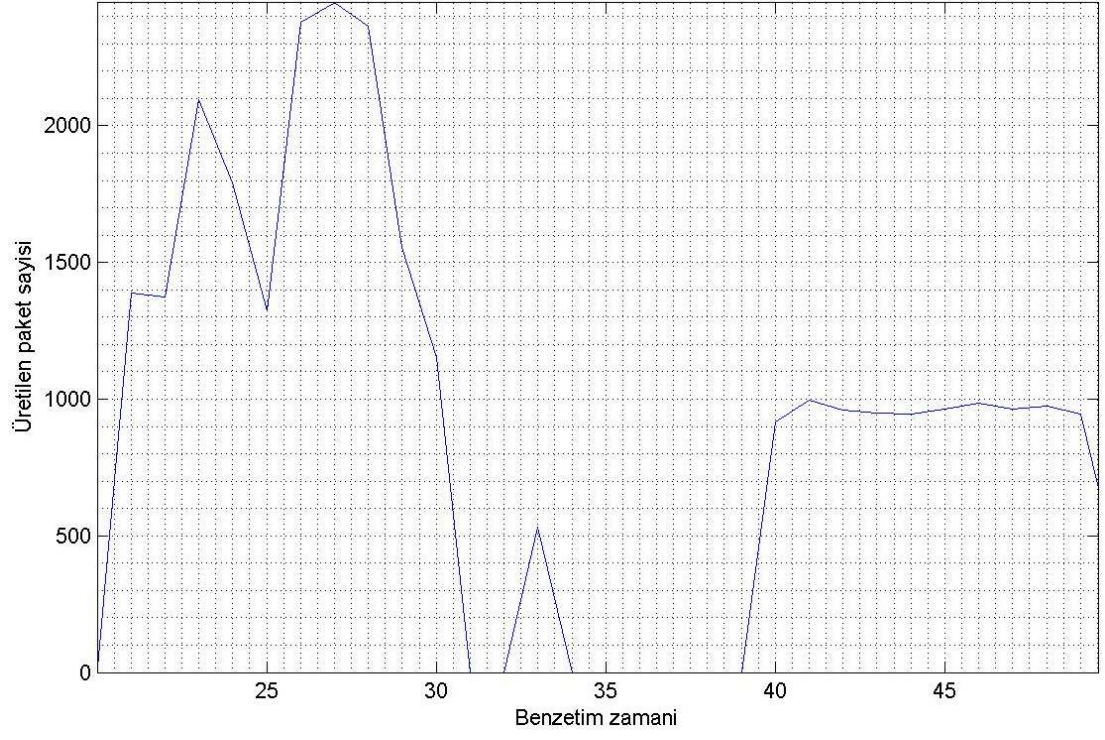


Şekil 4.6. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı

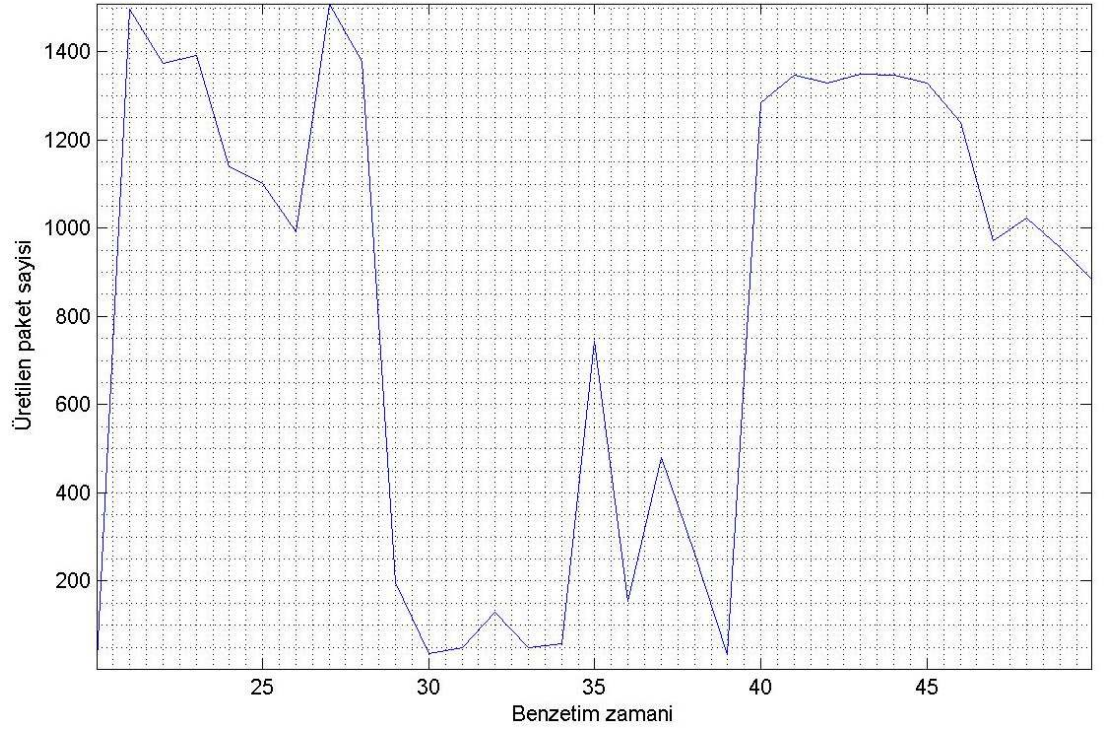
ADSRP protokolünün zamana göre ürettiği paket miktarı Şekil 4.7’de, AODV’nin Şekil 4.8’de, AOMDV’nin Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.7. İlk senaryoda ADSRP protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı

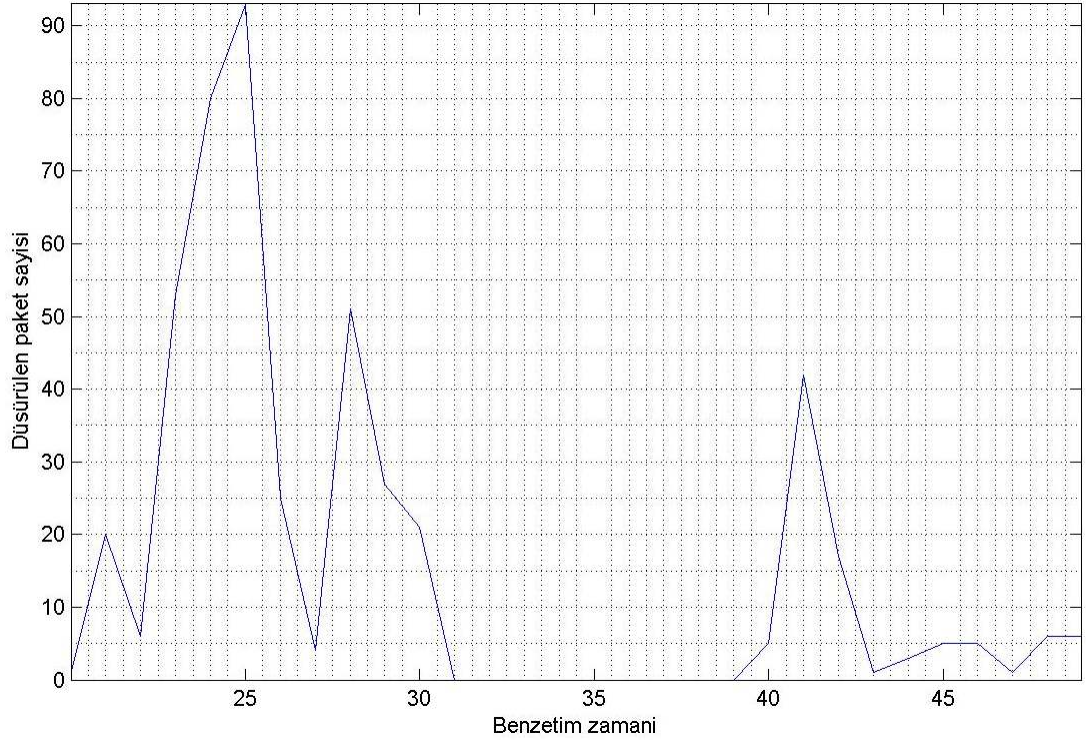


Şekil 4.8. İlk senaryoda AODV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı

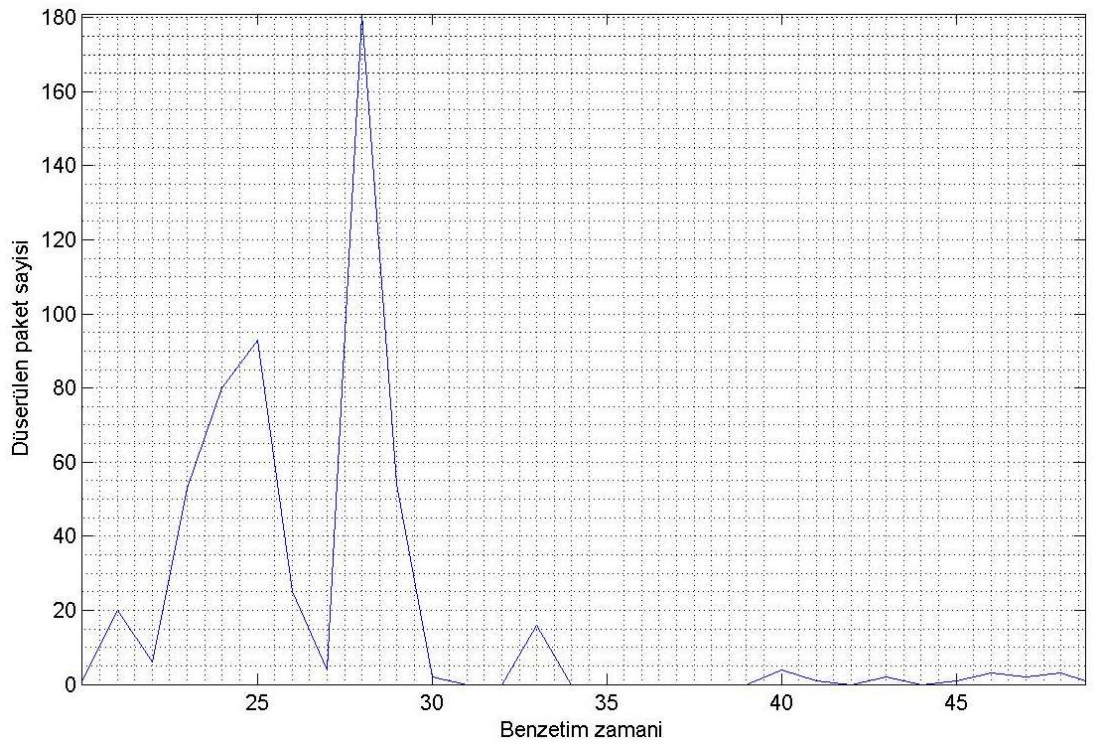


Şekil 4.9. İlk senaryoda AOMDV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı

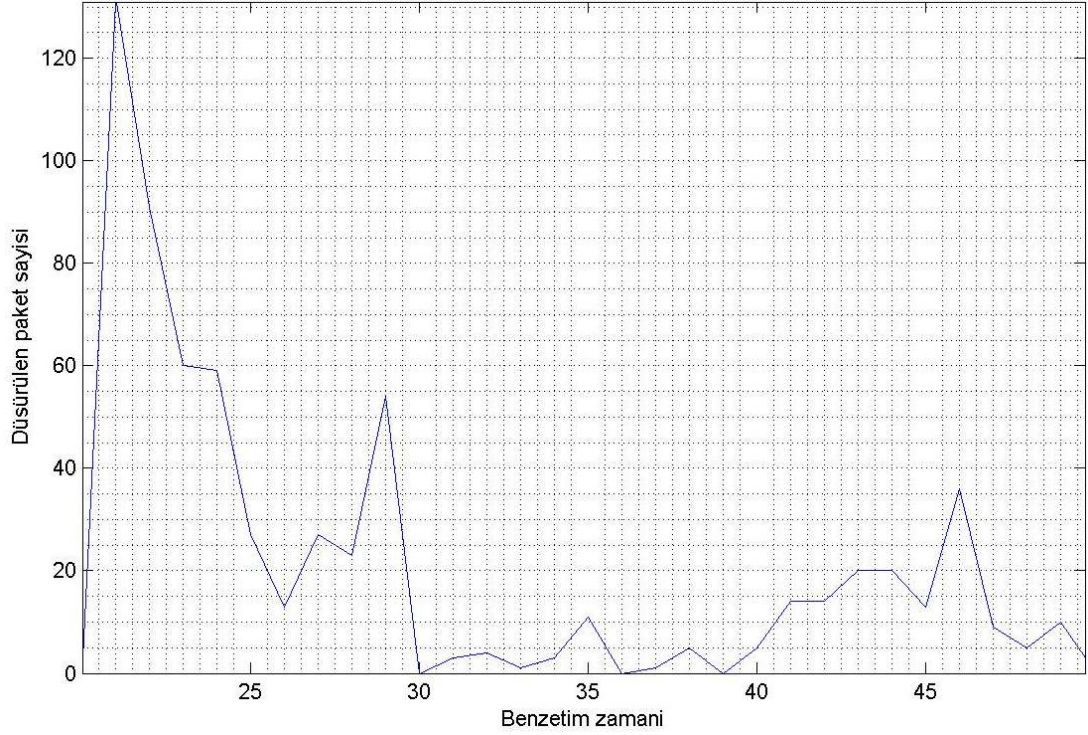
Şekil 4.10'de geliştirilen protokolün hangi zamanda ne kadar paket düşürdüğünü göstermektedir. En çok paket kaybı yaklaşık olarak 25. saniye civarlarında olmuştur.



Şekil 4.10. ADSRP protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı

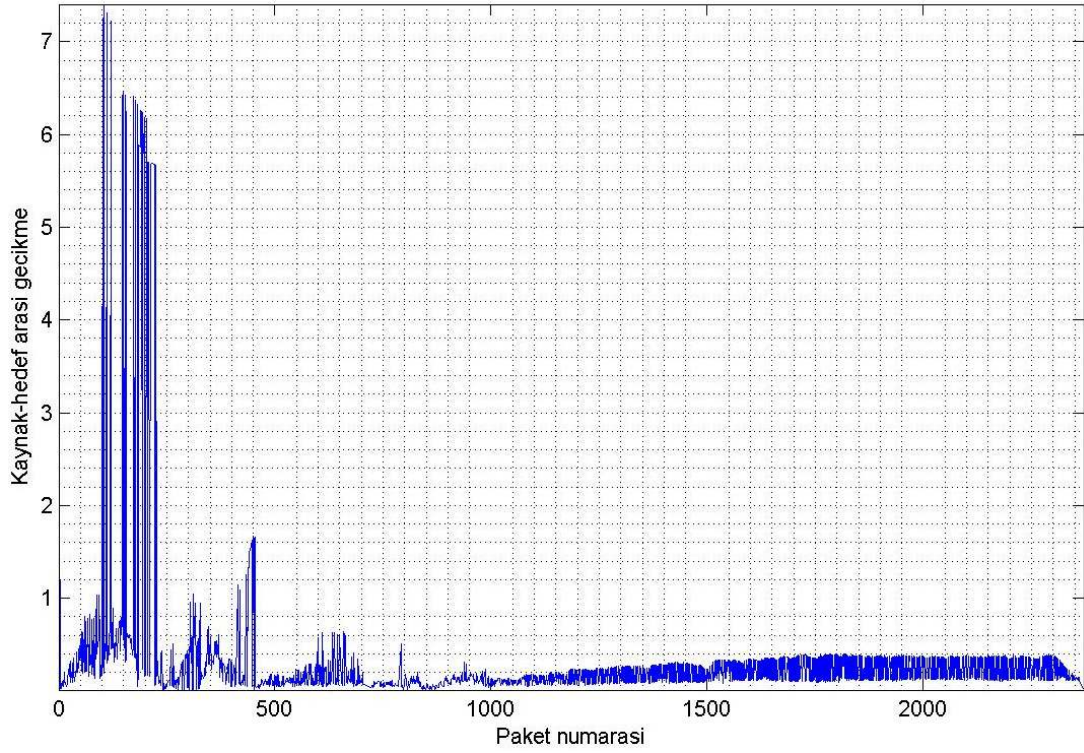


Şekil 4.11. İlk senaryoda AODV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı

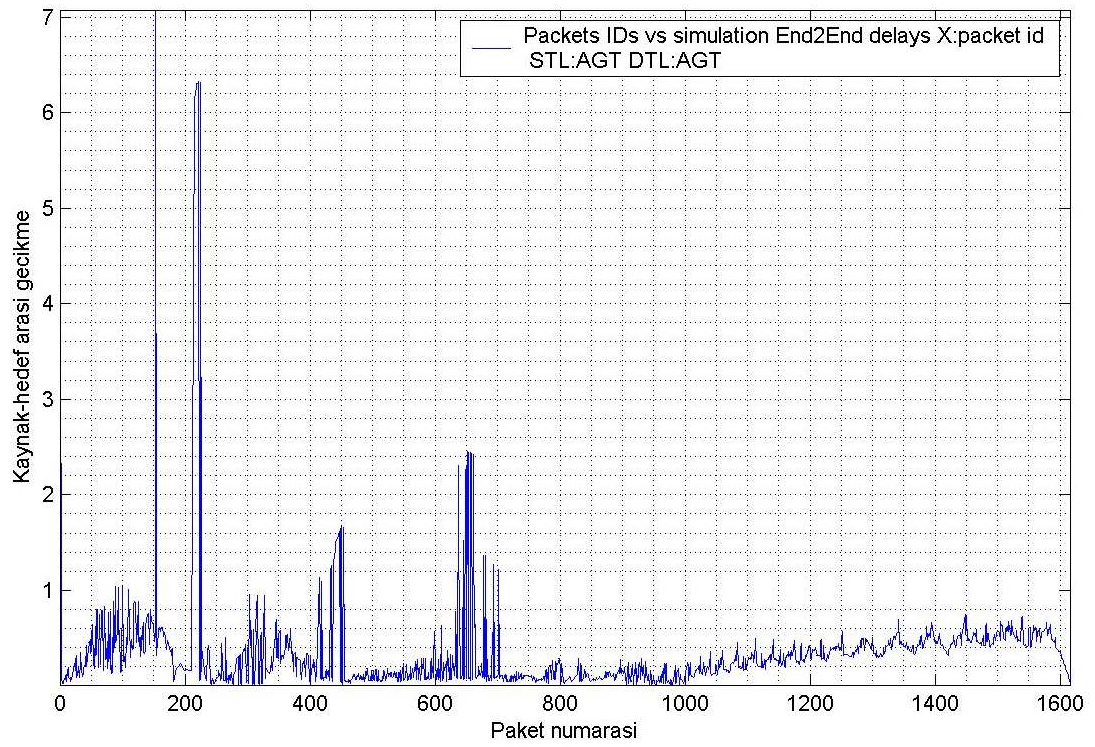


Şekil 4.12. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı

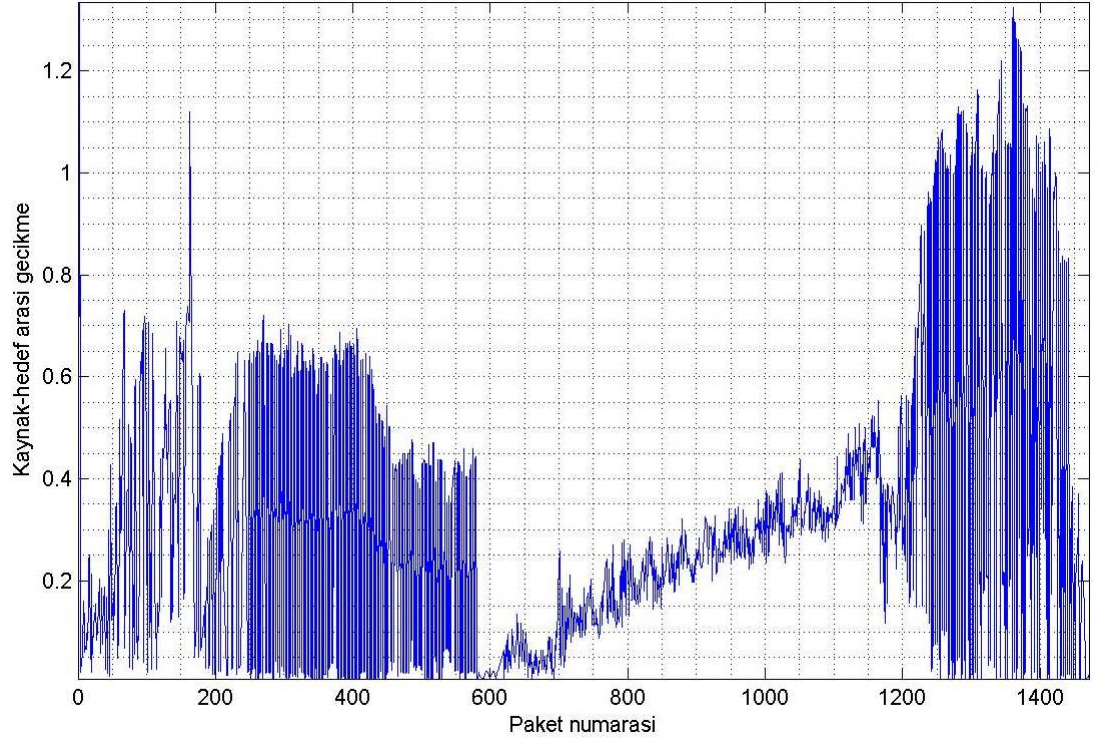
Şekil 4.13’de hedef ile kaynak arasında gönderilen paketlere verilen sıra numarası ile gecikme değerini ifade eden bir grafikdir. Benzetimde her pakete bir numara ns-2 benzetim aracı tarafından verilir. Gecikmenin en çok yaşandığı paketler yaklaşık olarak 100. ile 250. paketler arasında olmuştur. Bu aralıkta gecikmenin çok yaşanmasının sebebi mevcut rota bağlantısının kaybolması sonucu paketlerin tamponda biriktirilmesi ve yeni rotanın bulunmaya çalışılmasıdır. ADSRP protokolü ile AODV protokolünün gecikme değerleri yaklaşık olarak aynıdır. Fakat, ADSRP protokolünde gecikmede yaşanan dalgalanma daha azdır. Dolayısıyla paketlerdeki jitter oranları daha makul seviyede olmaktadır.



Şekil 4.13. İlk senaryoda ADSRP protokolü gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı

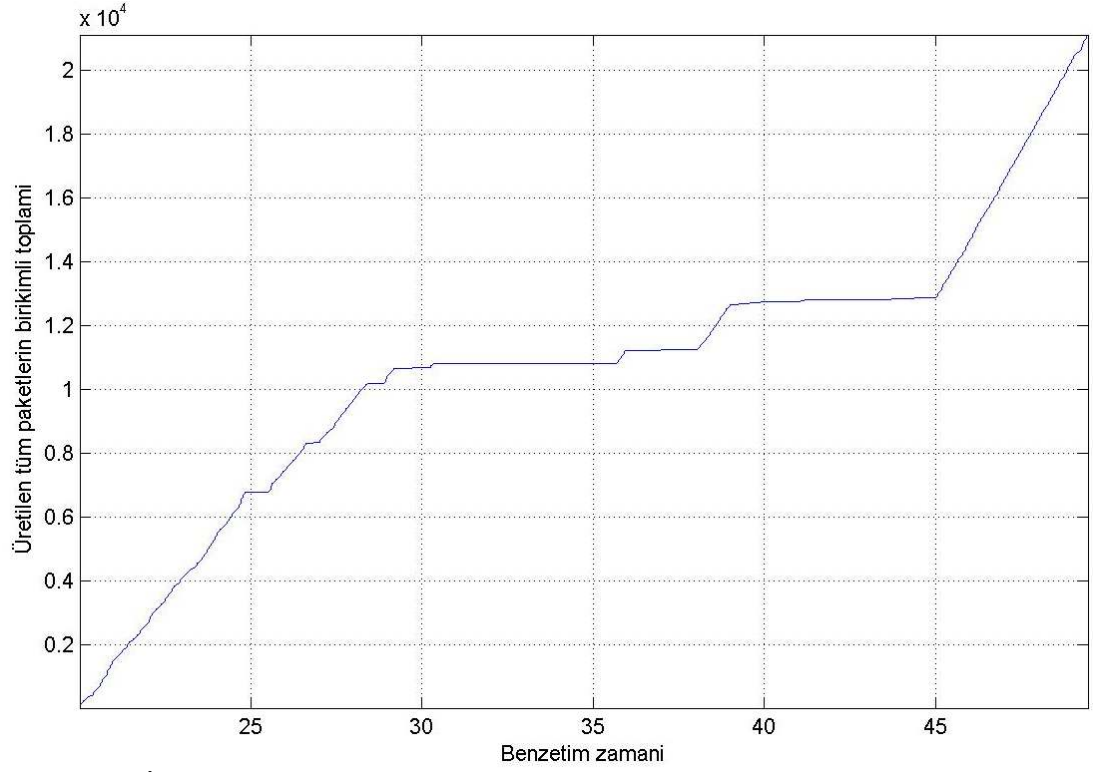


Şekil 4.14. İlk senaryoda AODV protokolü ile gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı

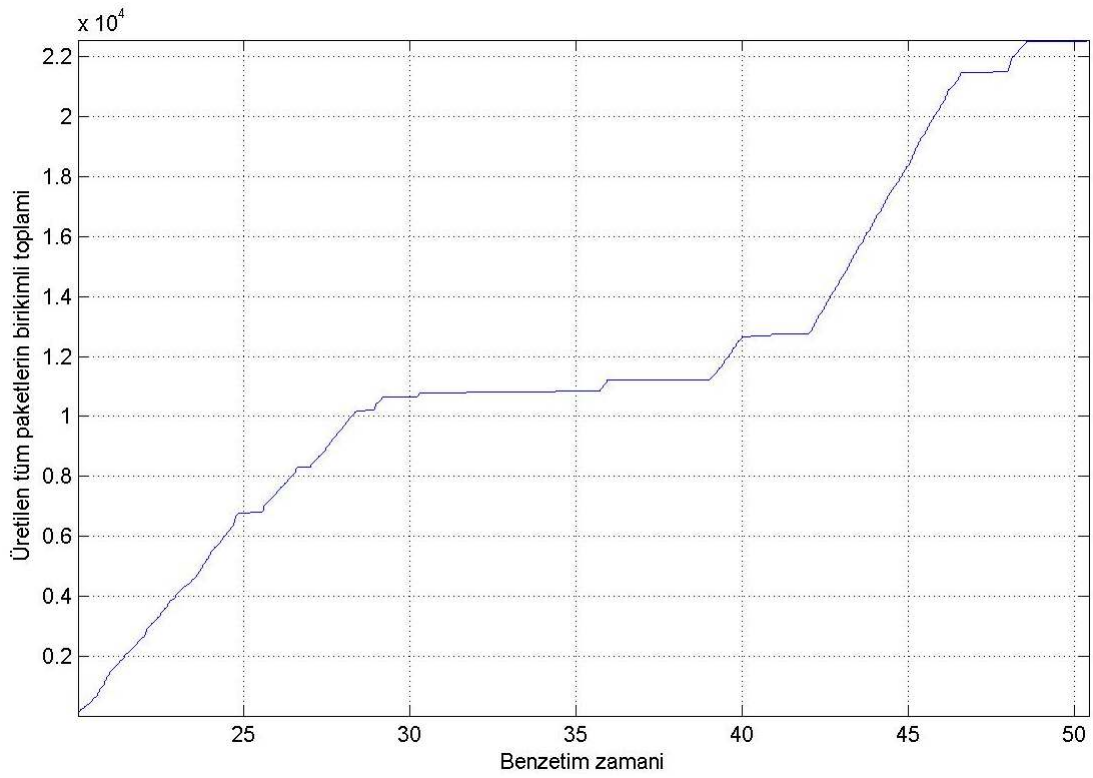


Şekil 4.15. İlk senaryoda AOMDV protokolü ile gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı

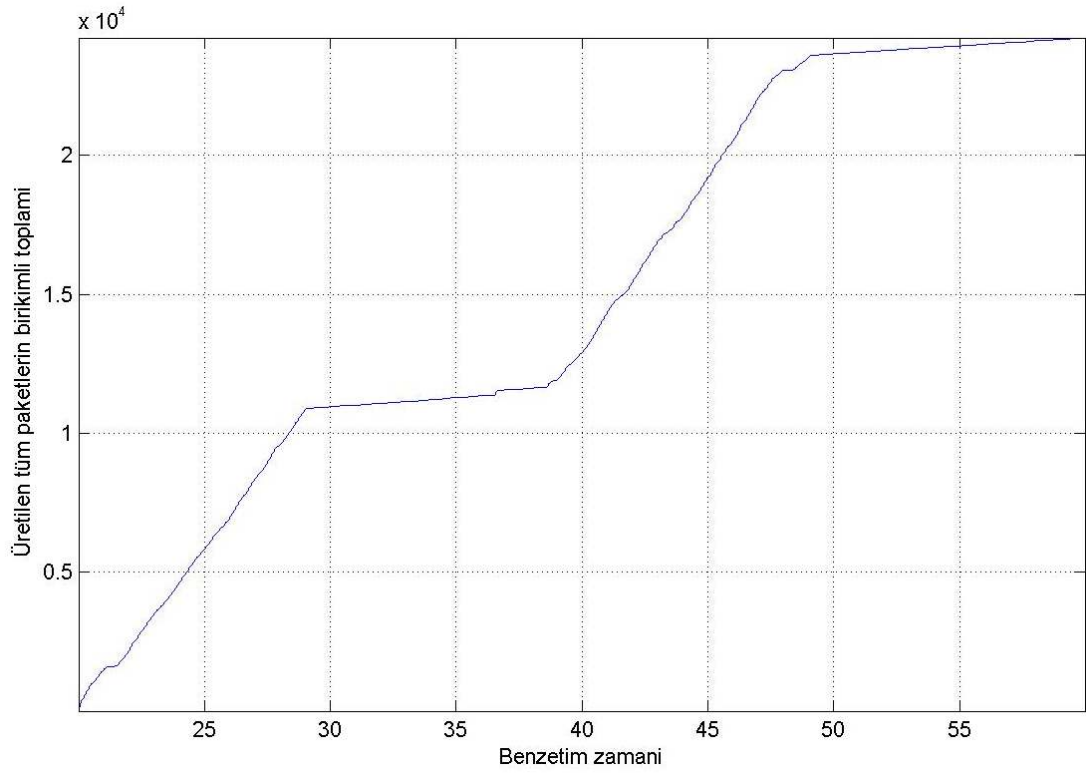
4.2. İkinci Senaryodan Elde Edilen Sonuçlar



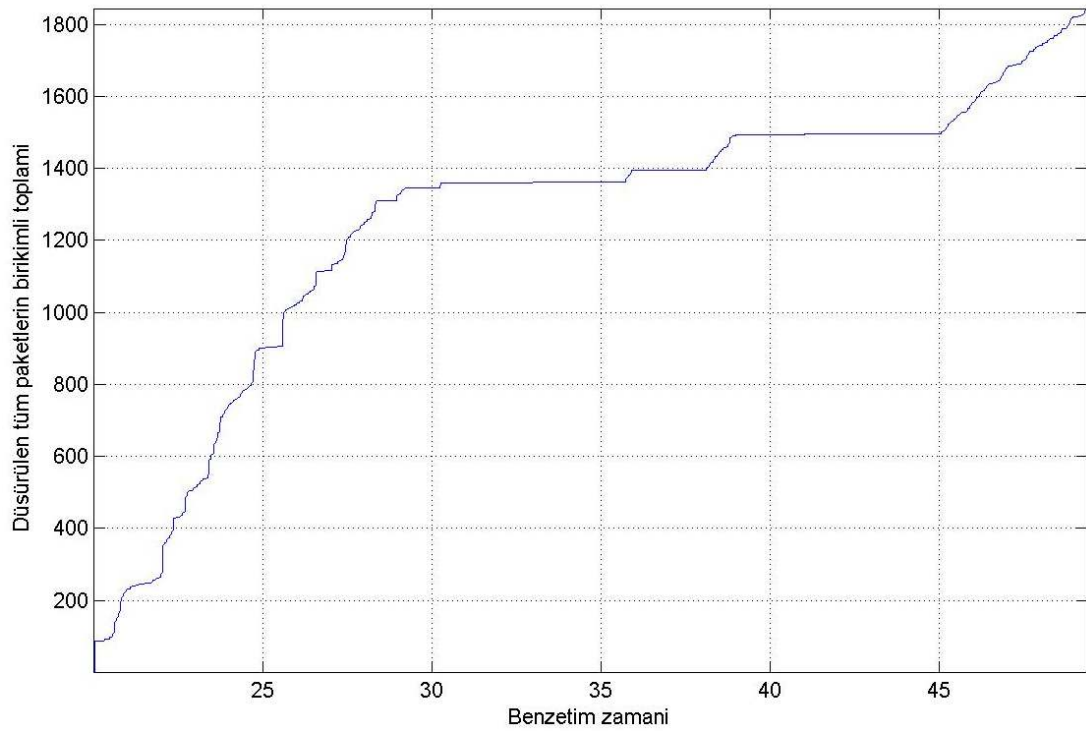
Şekil 4.16. İkinci senaryoda ADSRP protokol ile üretilen toplam paket miktarı



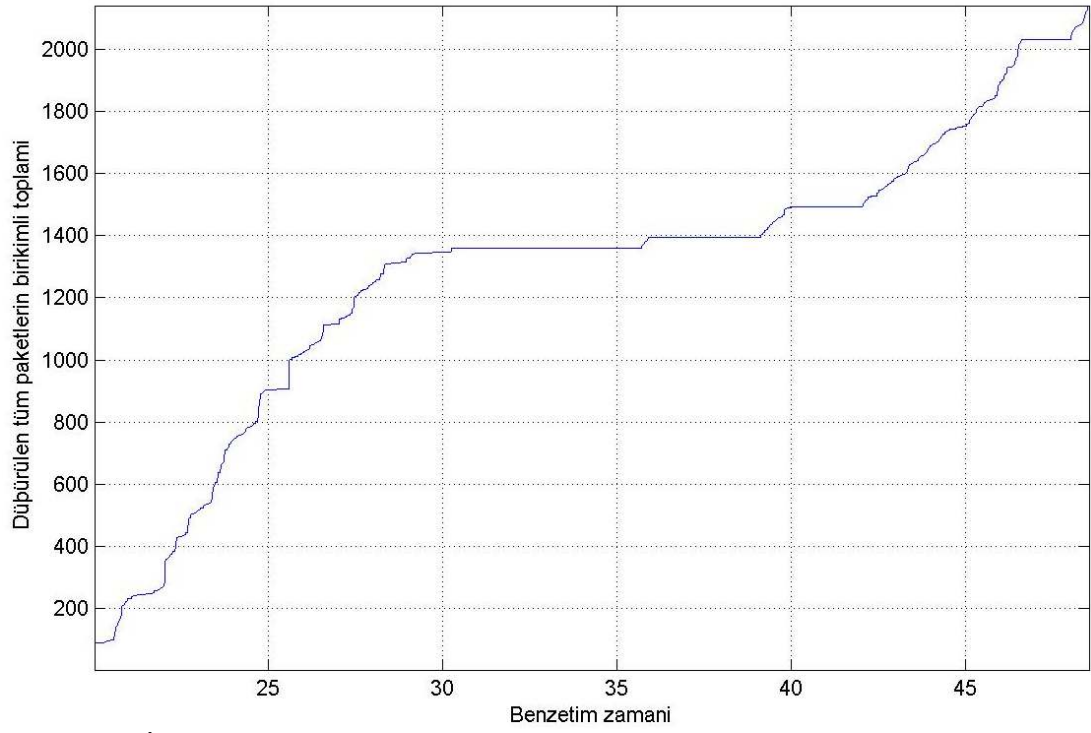
Şekil 4.17. İkinci senaryoda AODV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı



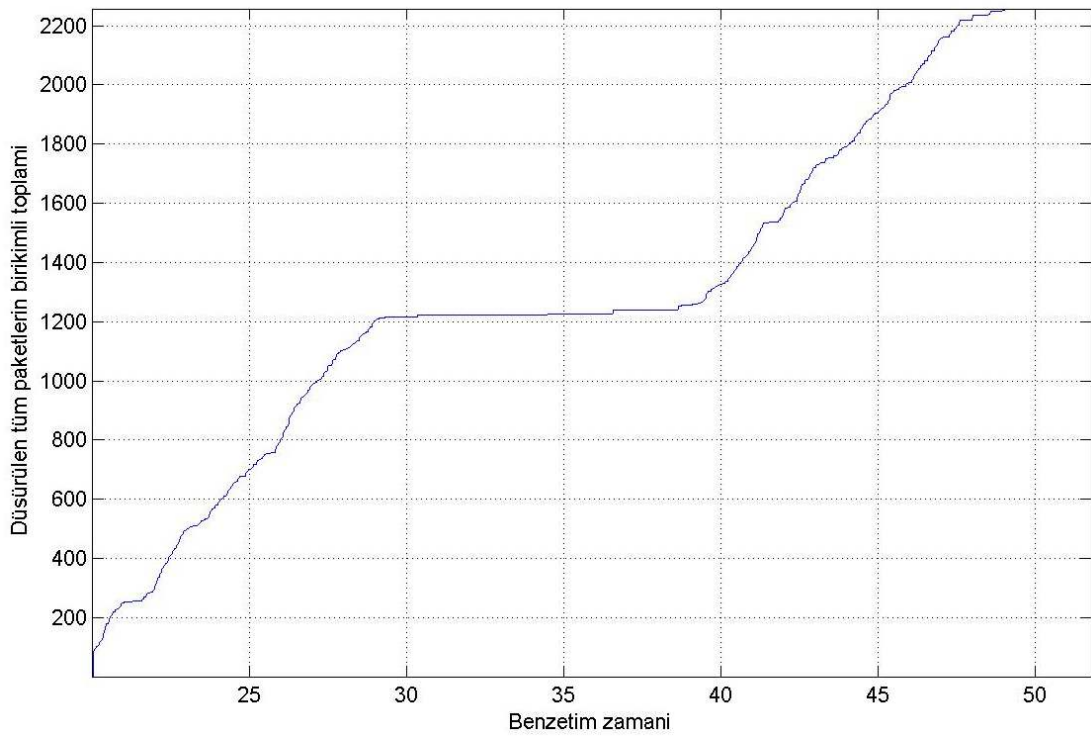
Şekil 4.18. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile üretilen toplam paket miktarı



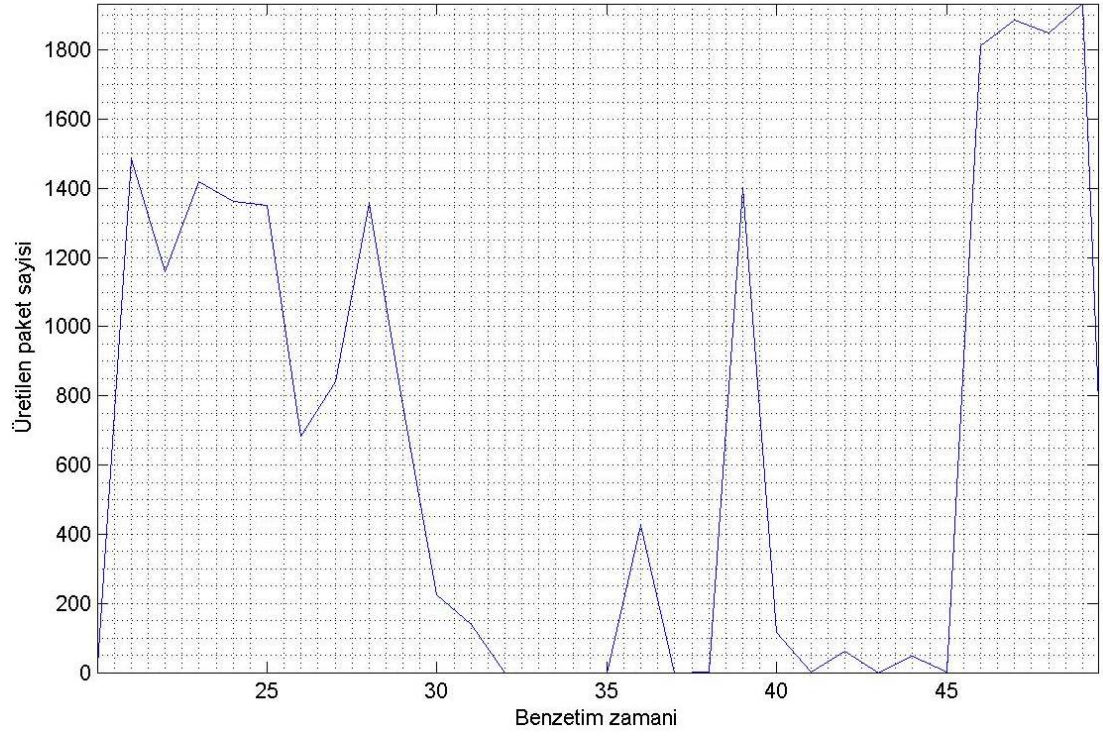
Şekil 4.19. İkinci senaryoda ADSRP protokol ile düşürülen toplam paket miktarı



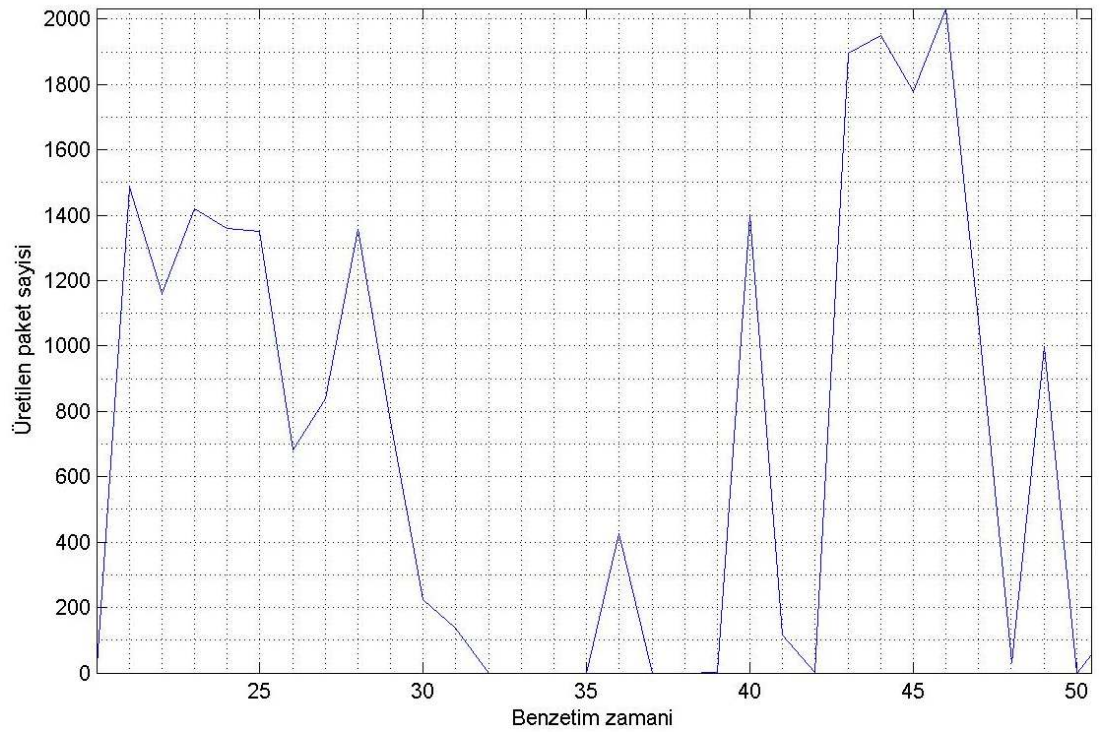
Şekil 4.20. İkinci senaryoda AODV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı



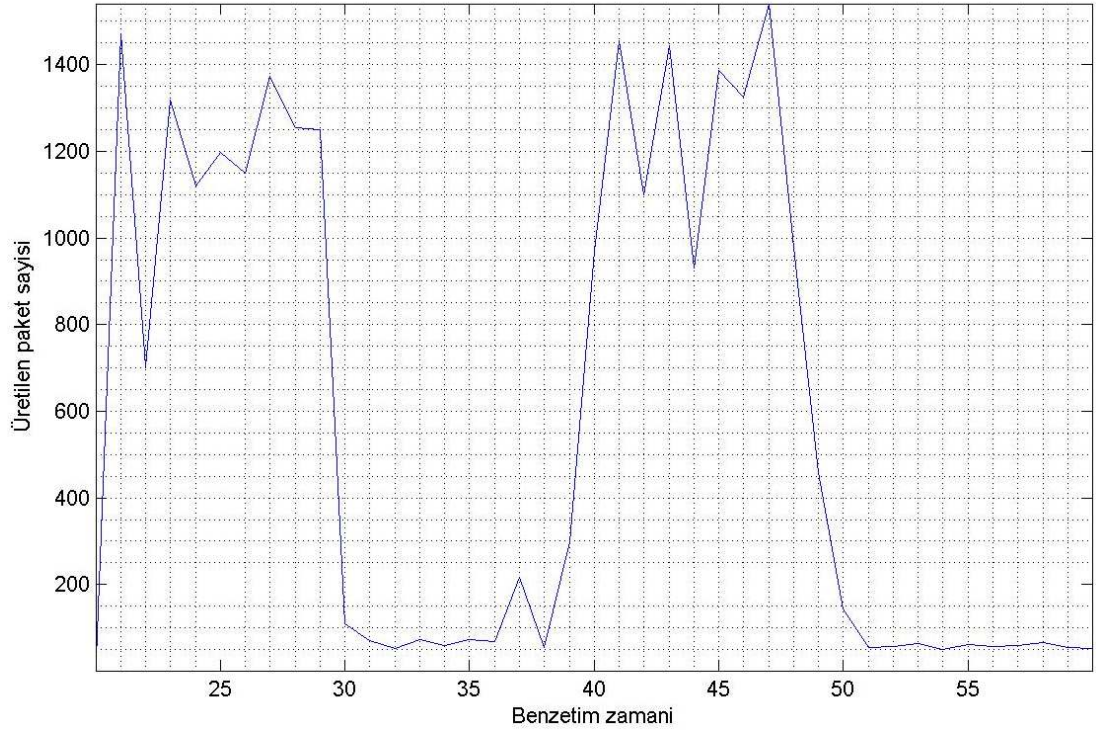
Şekil 4.21. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile düşürülen toplam paket miktarı



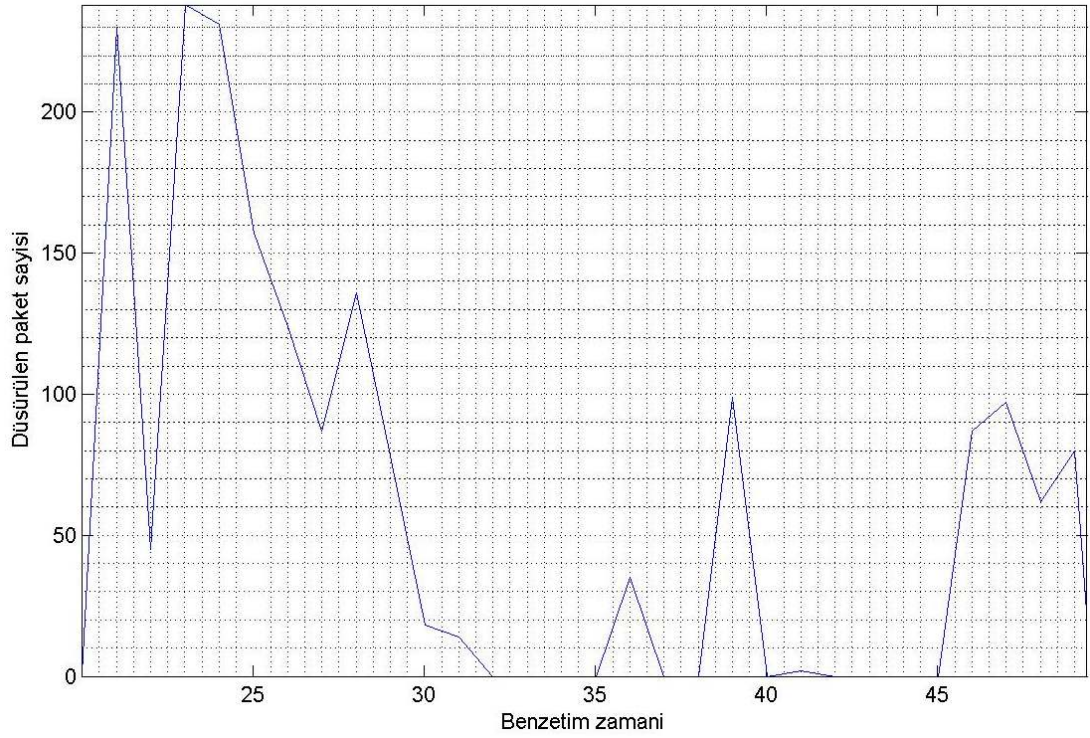
Şekil 4.22. İkinci senaryoda ADSRP protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı



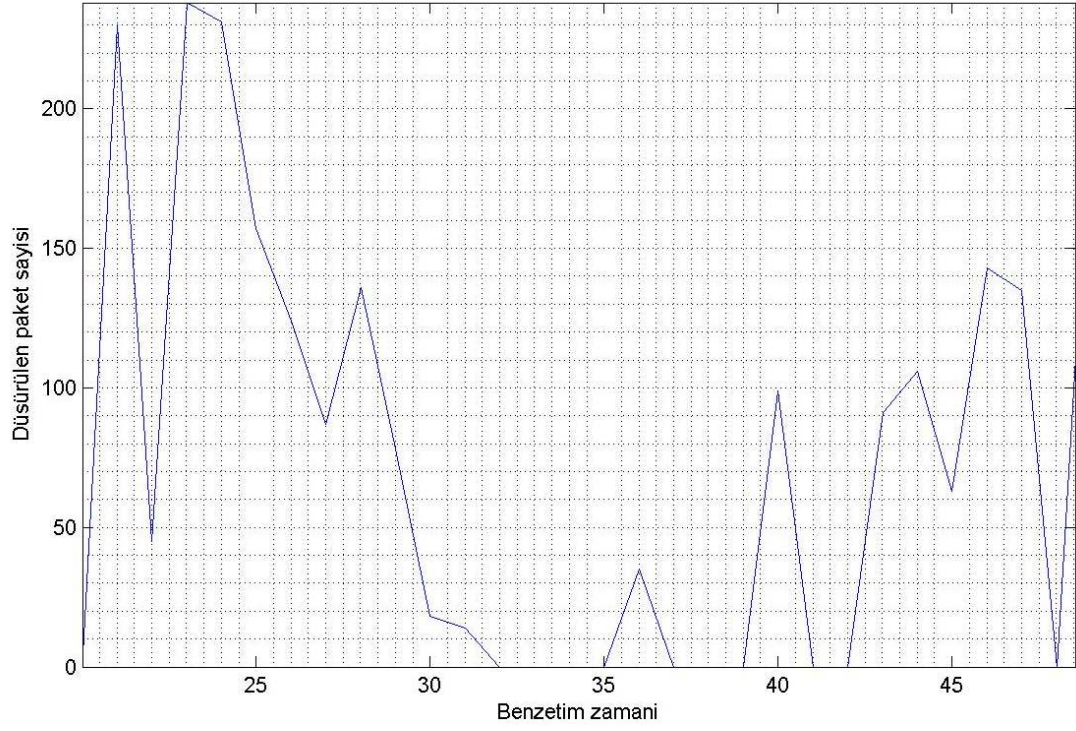
Şekil 4.23. İkinci senaryoda AODV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı



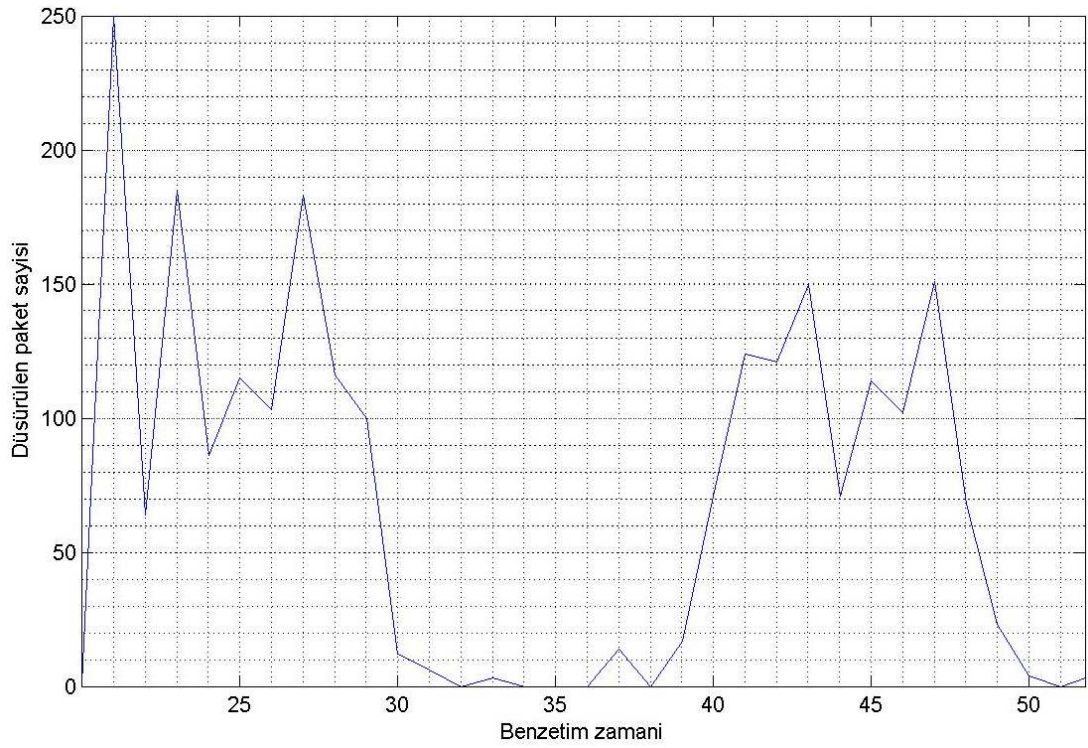
Şekil 4.24. İkinci senaryoda AOMDV protokolünün zaman göre ürettiği paket miktarı



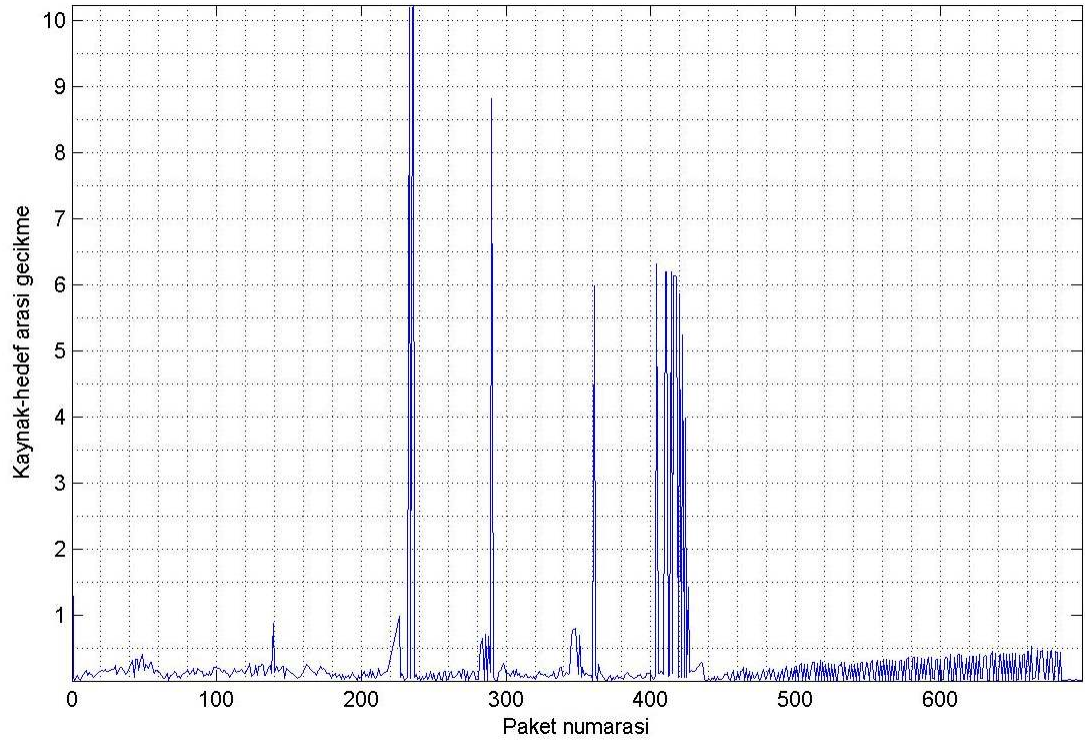
Şekil 4.25. İkinci senaryoda ADSRP protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı



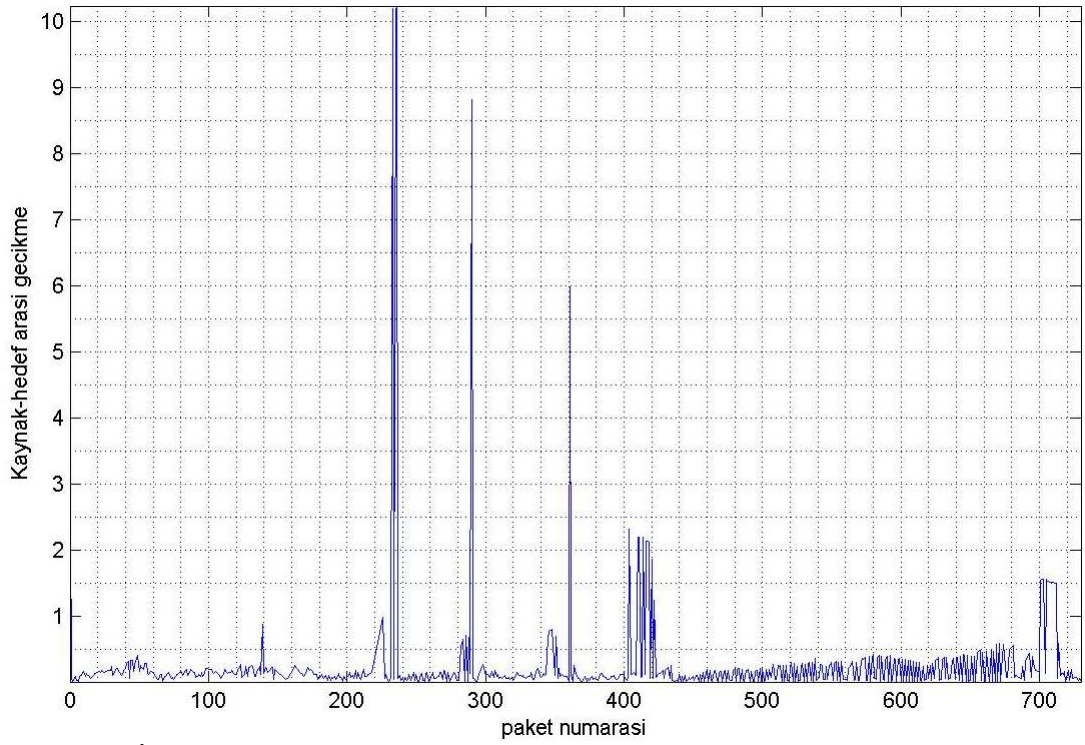
Şekil 4.26. İkinci senaryoda AODV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı



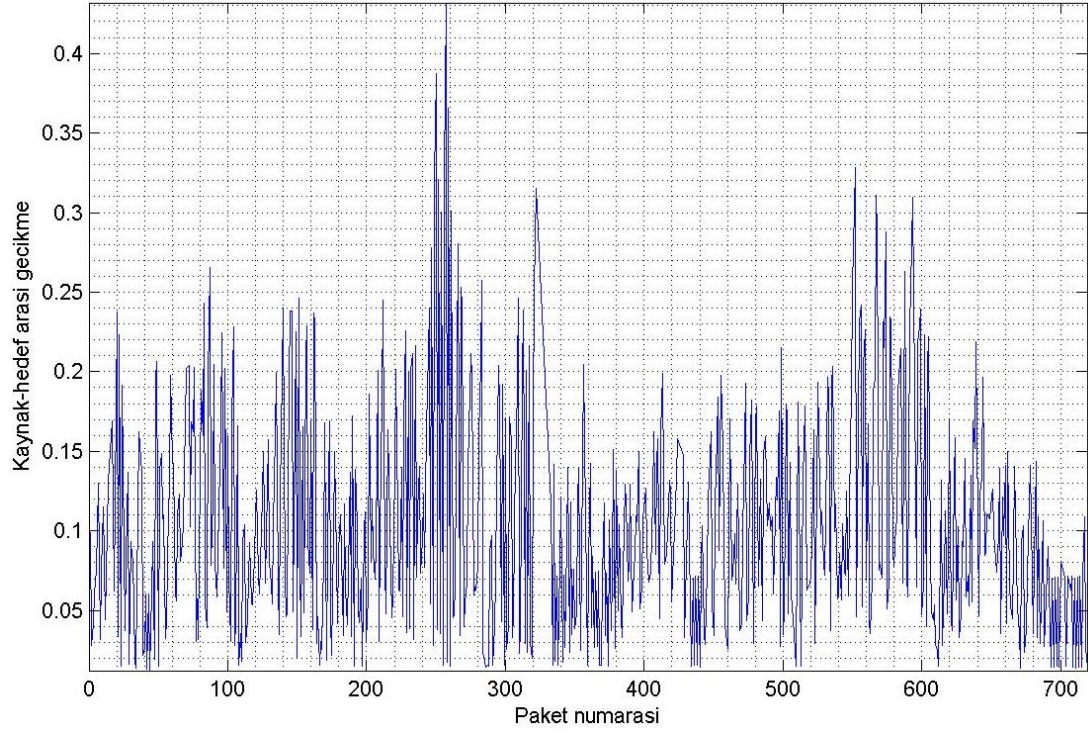
Şekil 4.27. İkinci senaryoda AOMDV protokolü ile zamana göre düşürdüğü paket miktarı



Şekil 4.28. İkinci senaryoda ADSRP protokolünün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı

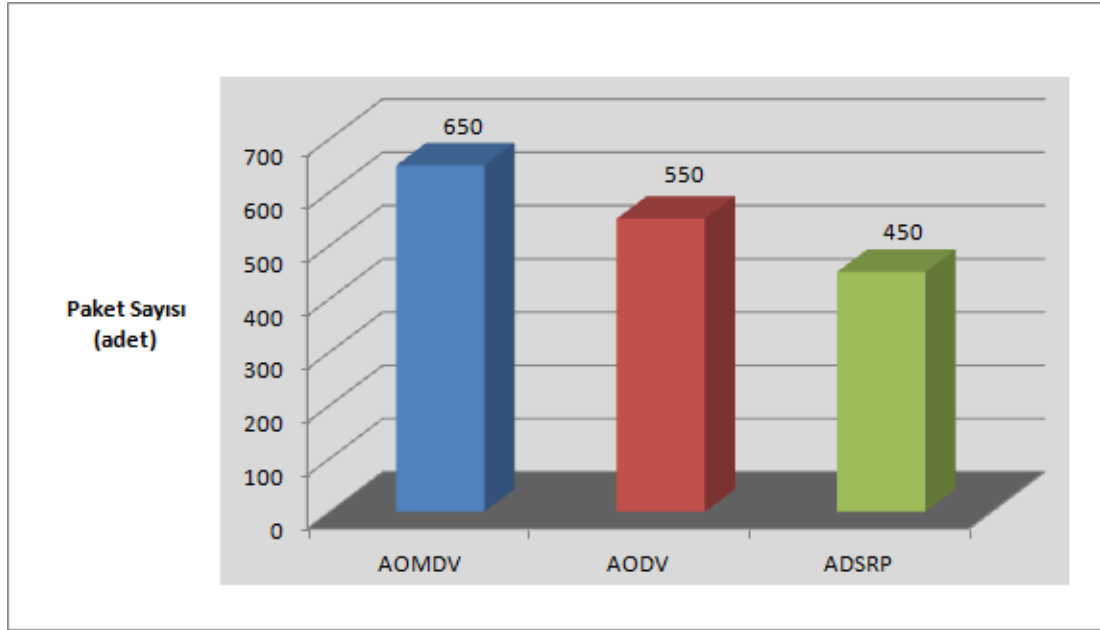


Şekil 4.29. İkinci senaryoda AODV protokolünün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı



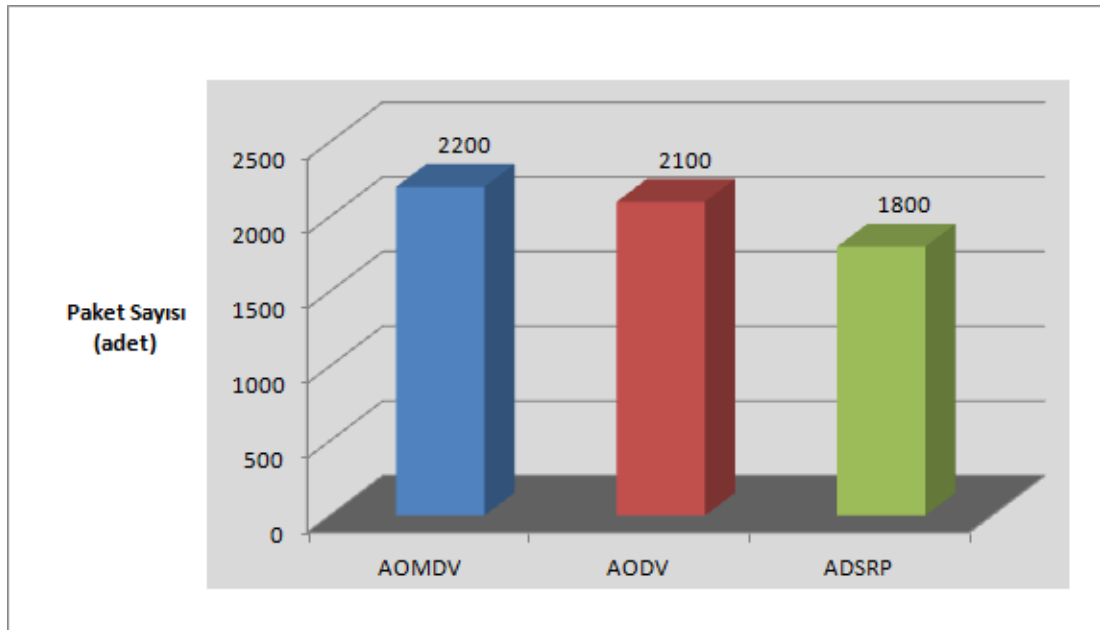
Şekil 4.30. İkinci senaryoda AOMDV protokolünün gönderilen paket numarasına göre gecikme oranı

Şekil 4.31’de ilk senaryoda protokollerin toplam attıkları paket sayıları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Geliştirilen protokoldeki paket atılma oranının AOMDV paket atılma oranına göre yaklaşık %30, AODV paket atılma oranına göre yaklaşık %18 daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31. İki protokolün ilk senaryoya göre atılan toplam paket sayısının karşılaştırmalı grafiği

Şekil 4.32’de ikinci senaryoda protokollerin toplam attıkları paket sayıları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Geliştirilen protokoldeki paket atma oranının AOMDV paket atılma oranına göre yaklaşık %18, AODV paket atılma oranına göre yaklaşık %14 daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32. İki protokolün ikinci senaryoya göre atılan toplam paket sayısının karşılaştırmalı grafiği

Her iki senaryoda da ADSRP protokolünün attığı toplam paket oranının diğer iki protokole göre daha az olduğu görülmektedir. AODV protokolü ise AOMDV protokolüne oranla her iki senaryoda da daha az paket kaybı vermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde kablosuz örgü ağlarda yönlendirme işlemini gerçekleştirmek için bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol (ADSRP), ns-2 benzetim ağacının 2.33 versiyonunun yamalanarak kablosuz örgü ağlarda kullanılabilir hale getirilmesi sonucu test edilmiştir. Kablosuz örgü ağlarda yönlendirme protokolü olarak da kullanılabilen AODV ve AOMDV protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı sayılarda arayüz ve kanal kullanılarak senaryolar kablosuz örgü ağı mimarisine benzetilmiştir. Geçiş noktalarında daha fazla sayıda kanal ve arayüz kullanılırken, uç noktalardaki düğümlerde birer tane kanal ve arayüz kullanılmıştır.

Kablosuz örgü ağlar göz önünde bulundurulduğunda ağdaki akan trafiğin çok büyük bir kısmı ağdaki düğümler ile geçiş noktaları arasında olmaktadır. Geçiş noktası olmayan herhangi iki düğüm arasındaki akan trafik miktarı oldukça az bir oranı oluşturmaktadır. Bu yüzden, geliştirilen protokolün dayandığı temel fikir bu yönde olmuştur ve bu fikir çerçevesinde protokol tasarlanmıştır.

İlk olarak mevcut ağ topolojisi içerisinde bulunan düğümler arasından iki tane kablosuz örgü ağda geçiş noktası olarak işlem yapacak düğümlerin tespit edilmektedir. İkinci aşamada topolojideki her bir düğüm, ilk aşamada tespit edilen iki tane düğüme ulaşılabilir olası tüm rotaların bulunması ve bulunan bu rotalardan en uygun olanını yönlendirme tablosuna, bulunan diğer rotaları ise geçiş noktası tablosu olarak isimlendirilen tabloya eklemektedir. Bu işlem ilk aşamada belirlenen iki tane geçiş noktasının her biri için ayrı ayrı yapılmaktadır. Üçüncü aşamada, bir geçiş noktasına gönderilecek paketi olan düğümlerin kendi yönlendirme tablosunda bakarak ilgili hedefi burada araması eğer ilgili rota kaydı yoksa paketi düşürmek yerine geçiş noktası tablosuna bakarak bu tabloda bulunan diğer rota üzerinden paketi hedefine göndermektedir. Son aşamada ise topolojiye katılan yeni bir düğüm olduğunda, bu düğümün komşusuna gönderdiği hello mesajından sonra kendisine cevap olarak iki geçiş noktasını ilgili rota bilgileri gönderilmektedir. Bu sayede, topolojiye katılan yeni düğüm geçiş noktalarına ulaşabilecek rotaları ağı herhangi bir

rota istek paketi göndermeden öğrenmiş olmaktadır. Böylece ağın daha kolay, masrafsız ve etkin şekilde ölçeklenebilmesi sağlanmaktadır.

Deneysel çalışmaların sonucunda, geliştirilen protokolün örgü ağlarda geçiş noktalarının tespit edilerek ilgili rotaların var olan yönlendirme tablosuna ve oluşturulan topoloji tablosuna eklenerek yönlendirme işleminin yapılması sonucu atılan toplam paket sayısını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Ayrıca, her düğüme geçiş noktaları ile ilgili rota kayıtlarının bir istek paketi gönderilmeden önce gönderilmesi ağda geçiş noktalarını öğrenmek için meydana gelecek çoklu yayın miktarını azaltmaktadır. Böylece ağın ölçeklenmesi sonucu oluşacak maliyet azalmakta ve ağın toplam verimliliği artmaktadır. Bunun yanı sıra ağda daha az paket atıldığı için hedeften kaynağa onay olarak gönderilen ACK paketlerinin gönderim sıklığında düşmekte ve bunun sonucunda ağın toplam trafiğinde de önemli ölçüde azalma olmaktadır.

Geliştirilen protokolün dayandığı temel yapı geçiş noktalarının tespit edilmesi ve bu noktalara göre ağdaki her düğümün yönlendirme tablosu ve topoloji tablosunu oluşturmasıdır. Herhangi bir nedenden dolayı bu geçiş noktalarının yanlış tespit edilmesi yada kablosuz örgü ağına saldıran bir saldırganın kendisini geçiş noktası gibi göstermesi sonucu ağın yönlendirme yapısını bozabilir. Geliştirilen protokolün bu gibi sorunları anlayabilecek ve gerekli önlemi alabilecek şekilde güvenlik algoritmalarının geliştirilmesi bu protokolü daha etkin ve verimli hale getirecektir.

KAYNAKLAR

1. Zhang, Z., Pazzi, R. W., Boukerche, A., "A mobility management scheme for wireless mesh networks based on a hybrid routing protocol", *Computer Communications*, 54(4), 558-572, 2010.
2. Jun J., Sichitiu, M. L., "MRP: Wireless mesh networks routing protocol", *Computer Communications*, 31(7), 1413-1435, 2008.
3. Zheng, J., Lee, M. J., "A resource-efficient and scalable wireless mesh routing protocol", *Ad Hoc Networks*, 5(6), 704-718, 2007.
4. Akyıldız, I. F., Wang, X., Wang, W., "Wireless mesh networks: a survey", *Computer Networks*, 47(4), 445-487, 2005.
5. Pal, A., Nasipuri, A., "A quality based routing protocol for wireless mesh networks", *Pervasive and Mobile Computing*, (In Press).
6. İnternet : Wikipedia "Wireless Mesh Network"
http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network (2011).
7. Kim, S., Lee, O., Choi, S., Lee, S., "Comparative analysis of link quality metrics and routing protocols for optimal route construction in wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 9(7), 1343-1358, 2011.
8. Zhao, L., Al-Dubai, A. Y., Min, G., "An efficient Neighbourhood Load Routing metric for Wireless Mesh Networks", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(6), 1415-1426, 2011.
9. Cheng, X., Mohapatra, P., Lee, S. J., Banerjee, S., "Maria: interference-aware admission control and qos routing in wireless mesh networks", *ICC*, 2865-2870, 2008.
10. Pirzada, A. A., Portmann, M., Indulska, J., "Performance analysis of multi-radio AODV in hybrid wireless mesh networks", *Computer Communications*, 31(5), 885-895, 2008.
11. Pirzada, A. A., Portmann, M., Wishart, R., Indulska, J., "SafeMesh: A wireless mesh network routing protocol for incident area communications", *Pervasive and Mobile Computing*, 5(2), 201-221, 2009.
12. Jeng, A. A., Jan, R., Li, C., Chen, C., "Release-time-based multi-channel MAC protocol for wireless mesh networks", *Computer Networks*, 55(9), 2176-2195, 2011.

13. Galvez, J. J., Ruiz, P. M., Skarmeta, A. F. G., "Responsive on-line gateway load-balancing for wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 10(1), 46-61, 2012.
14. Chen, F., Wang, Y., Liu, J., Li, Z., "Probing-based anypath forwarding routing algorithms in wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, (In Press), 2011.
15. Gomes, R. L., Junio, W. M., Cerqueira, E., Abelem, A. J., "Using fuzzy link cost and dynamic choice of link quality metrics to achieve QoS and QoE in wireless mesh networks", *Journal of Network and Computer Applications*, 34(2), 506-516, 2011.
16. Benyamina, D., Hafid, A., Gendreau, M., Maureira, J. C., "On the design of reliable wireless mesh network infrastructure with QoS constraints", *Computer Communications*, 55(8), 1631-1647, 2011.
17. Amaldi, E., Capone, A., Cesana, M., Filippini, I., Malucelli, F., "Optimization models and methods for planning wireless mesh networks", *Computer Networks*, 52(11), 2159-2171, 2008.
18. Yang, Z., Li, M., Lou, W., "R-Code: Network coding-based reliable broadcast in wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 9(5), 788-798, 2011.
19. Zhao, W., Xie, J., "OPNET-based modeling and simulation study on handoffs in Internet-based infrastructure wireless mesh networks", *Computer Networks*, 55(12), 2675-2688, 2011.
20. Borges, V. C. M., Curado, M., Monteiro, E., "The impact of interference-aware routing metrics on video streaming in Wireless Mesh Networks", *Ad Hoc Networks*, 9(4), 652-661, 2011.
21. Riggio, R., Rasheed, T., Testi, S., Granelli, F., Chlamtac, I., "Interference and traffic aware channel assignment in WiFi-based wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 9(5), 864-875, 2011.
22. Caillouet, C., Perennes, S., Rivano, H., "Framework for optimizing the capacity of wireless mesh networks", *Computer Communications*, 34(13), 1645-1659, 2011.
23. Crichigno, J., Wu, M-Y., Shu, W., "Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 6(7), 1051-1077, 2008.
24. Cheng, H., Xiong, N., Vasilakos, A. V., Yang, L. T., Chen, G., Zhuang, X., "Nodes organization for channel assignment with topology preservation in multi-radio wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, (In Press), 2011.

25. Subramanian, A., Guptake, H., Das, S. R., "Minimum interference channel assignment in multi-radio wireless mesh networks", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, 7(12), 1459-1473, 2008.
26. Tang, J., Xue, G., Zhang, W., "Interference-aware topology control and QoS routing in multi-channel wireless mesh networks", *Proceedings of ACM MOBIHOC'05*, New York, 68-77, 2005.
27. Cheng, H., Xiong, N., "Channel assignment with topology preservation for multi-radio wireless mesh networks", *Journal of Communications*, 5(1), 63-70, 2010.
28. Rad, A. H. M., Wong, V. W. S., "Congestion-aware channel assignment for multi-channel wireless mesh networks", *Computer Networks*, 53(14), 2502-2516, 2009.
29. Raniwala, A., Chiueh, T., "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network", *Proceedings of IEEE Infocom*, Miami, 2223-2234, 2005.
30. Marina, M. K., Das, S. R., Subramanian, A. P., "A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks", *Computer Communications*, 54(2), 241-256, 2010.
31. Wellons, J., Xue, Y., "The robust joint solution for channel assignment and routing for wireless mesh networks with time partitioning", *Ad Hoc Networks*, (In Press), 2011.
32. Kim, S. H., Kim, D. W., Suh, Y. J., "A Cooperative Channel Assignment protocol for multi-channel multi-rate wireless mesh networks", *Ad Hoc Networks*, 9(5), 893-910, 2011.
33. Draves, R., Padhye, J., Zill, B., "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks", *Proc. of ACM Mobicom*, New York, 114-128 2004.
34. Kumar, N., Kumar, M., Patel, R. B., "Capacity and interference aware link scheduling with channel assignment in wireless mesh networks", *Journal of Network and Computer Applications*, 34(1), 30-38, 2011.
35. Zeng, G. W., Ding, B., Xiao, Y. L., Mutka, M., "Multicast algorithms for multi-channel wireless mesh networks", *Proceedings of IEEE international conference on network protocols ICNP'07*, 1-10, 2007.
36. Martignon, F., Paris, S., Capone, A., "Design and implementation of MobiSEC: A complete security architecture for wireless mesh networks", *Computer Networks*, 53(12), 2192-2207, 2009.

37. Muogilim, O. E., Loo, K. K., Comley, R., “Wireless mesh network security: A traffic engineering management approach”, *Journal of Network and Computer Applications*, 34(2), 478-491, 2011.
38. Pourfakhar, E., Rahmani, A. M., “A hybrid QoS multicast framework-based protocol for wireless mesh networks”, *Computer Communications*, 33(17), 2079-2092, 2010.
39. Lee, S. J., Su, W., Gerla, M., “On-demand multicast routing protocol in multihop wireless mobile networks”, *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications*, 7(6), 2002.
40. Ruiz, P. M., Gomez-Skarmeta, A. F., “Approximating optimal multicast trees in wireless multihop networks”, *10th IEEE Symposium on Computers and Communications*, Spain, 686–691, 2005.
41. Li, F., Fang, Y., Hu, F., Liu, X., “Load-aware multicast routing metrics in multi-radio multi-channel wireless mesh networks”, *Computer Communications*, 55(9), 2150-2167, 2011.
42. Acharya, P. A. K., Belding, E. M., “MARS: Link-layer rate selection for multicast transmissions in wireless mesh networks”, *Ad Hoc Networks*, 9(1), 48-60, 2011.
43. Kharraz, M. A., Sarbazi-Azad, H., Zomaya, A. Y., “On-demand multicast routing protocol with efficient route discovery”, *Journal of Network and Computer Applications*, (In Press).
44. Campista, M. E. M., Esposito, P. M., Moraes, I. M., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., Passos, D. G., De Albuquerque, C. V. N., Saade, D. C. M., Rubinstein, M. G., “Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks”, *IEEE Network*, 2008.
45. Alotaibi, E., Mukherjee, B., “A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks”, *Computer Networks*, (Basımda).
46. Şimşek M., “Kablosuz ağlarda yönlendirme protokolü ve tıkanıklık denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 36-39 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOCAOĞLU, Ramazan
 Uyruğu : TC
 Doğum tarihi ve yeri : 28.06.1986 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 3631298
 e-mail : ramazankocaoglu@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksel Lisans	Gazi Üniversitesi / Bilgisayar Bilimleri	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi / Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği	2009
Lise	Anafartalar Anadolu Ticaret Meslek Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010 -	(HP) 4S Bilgi Teknolojileri	Ağ ve Güvenlik Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Kocaoğlu R., Akcayol M.A., “Kablosuz Örgü Ağlarda Verimlilik Analizi ve Çözüm Önerileri”, Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 3, s 1-12, 2011.