

**AD-HOC AĞLARDA ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ**

İlker Bay

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2007
ANKARA**

İlker BAY tarafından hazırlanan AD-HOC AĞLARDA ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Sezai DİNÇER

Üye : Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL

Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Şakir BİLGE

Tarih : 28/05/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri 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.

İlker BAY

AD-HOC AĞLARDA ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ
(Yüksek Lisans Tezi)

İlker Bay

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2007

ÖZET

Bu tezde, ad-hoc ağlarda yönlendirme ve enerji yönetimi ele alınmış ve enerji etkin bir yönlendirme protokolü geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol düğümlerin enerji seviyeleri kritik düzeye indiği zaman aktif hale gelerek yönlendirme için yeni yol oluşturmaktadır. Benzetim aracı olarak Network Simulator 2 (ns-2) kullanılmıştır. Önerilen protokol, C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) yönlendirme protokolüyle karşılaştırılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar geliştirilen protokolün ad-hoc ağlarda enerji yönetiminde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 902.1.014
Anahtar Kelimeler : Ad-hoc Ağlar, Enerji Etkin, Yönlendirme, Protokol
Sayfa Adedi : 57
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL

ENERGY EFFICIENT PROTOCOL FOR AD-HOC NETWORKS

(M.Sc. Thesis)

İlker Bay

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

May 2007

ABSTRACT

In this thesis, routing and energy management for ad-hoc networks have been investigated and a energy efficient protocol has been developed for mobile wireless networks. Developed protocol has been activated whenever energy of nodes decreased to critical level and obstructs completely finishing the energy of nodes. Network simulator 2 (ns-2) has been used as simulation tool. Proposed protocol has been developed using C++ programming language and compared with Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) routing protocol. The experimental results have shown that the developed protocol has been successfully applied to energy management for ad-hoc networks.

Science Code : 902.1.014

Key Words : Ad-hoc networks, Energy Efficient, Routing, Protocol

Page Number : 57

Adviser : Assoc.Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç.Dr. M. Ali AKCAYOL'a, Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç.Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na ve Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE'ye, değerli arkadaşlarım Mehmet ŞİMŞEK, Sinan TOKLU, İ. Alper DOĞRU'ya ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. AD-HOC AĞLAR'DA ENERJİ YÖNETİMİ	6
2.1. Ad-hoc Ağlar İşletim Prensipleri	6
2.2. Ad-hoc Ağlarda Enerji Problemi	10
2.2.1. Enerji yönetimi	11
3. KABLOSUZ AĞLARDA YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ	13
3.1. Yönlendirme Bilgisi Güncelleme Mekanizması Tabanlı Olanlar	13
3.2. Yönlendirme İçin Geçici Bilgi Kullananlar	14
3.3. Yönlendirme Topolojisi Tabanlı Olanlar	14
3.4. Belirli Kaynakların En İyi Kullanımı Tabanlı Olanlar	15
3.5. Hareketli Kablosuz Ağlarda Yönlendirme Protokolleri	15
3.5.1. Hedef sıralı uzaklık vektörü yönlendirme protokolü	16
3.5.2. Dinamik kaynak yönlendirme protokolü	19
3.5.3. Alan yönlendirme protokolü	21
3.5.4. Tercih edilen bağlantı tabanlı yönlendirme protokolü	22

Sayfa

4. ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ.....	24
5. GELİŞTİRİLEN ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ	26
5.1. Enerji Seviyesinin Belirlenmesi.....	26
5.2. Benzetimin Gerçekleştirilmesi.....	27
5.2.1. ns-2 ağ benzetim aracı	28
5.2.2. AODV yönlendirme protokolü	28
5.2.3. Benzetim metodolojisi	31
5.2.4. Performans ölçütleri	31
5.2.5. Gerçekleştirilen benzetim	32
6. DENEYSEL SONUÇLAR	42
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 1 numaralı düğümün yönlendirmesi	17
Çizelge 3.2. Güncelleme sonrası 1 numaralı düğümün yönlendirme	19

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ad-hoc ağlara örnek.....	6
Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topology güncellemesi	7
Şekil 3.1. Örnek ağ yapısı	16
Şekil 3.2. Örnek ağ yapısı	18
Şekil 3.3. Dinamik kaynak yönlendirme protokolü'nün çalışması	20
Şekil 3.4. Alan yönlendirme protokolünde 8 ve 16 düğümleri arasında yol bulma.....	22
Şekil 5.1. AODV'de yol kurma	30
Şekil 5.2. AODV'de yol hatası	31
Şekil 5.3. nam programının ekran görüntüsü	32
Şekil 5.4. Senaryonun temsili görünümü	33
Şekil 5.5. Senaryonun ikinci durumu temsili görünümü.....	34
Şekil 5.6. Benzetimde kullanılan topoloji	36
Şekil 5.7. 2 numaralı düğümün enerjisinin birinci kritik düzeye düşmesi.....	38
Şekil 5.8. 2 numaralı düğümün enerjisinin ikinci kritik düzeye düşmesi	38
Şekil 5.9. 2 numaralı düğümün enerjisinin tükenmesi ve paket kayıpları	39
Şekil 5.10. Yeni yol durumu	40
Şekil 5.11. Geliştirilen protokolde enerji seviyesine göre yeni yol kurulması	41
Şekil 6.1. AODV'de üretilen paket sayısı grafiği	42
Şekil 6.2. Geliştirilen protokol tarafından üretilen paket sayısı grafiği	43
Şekil 6.3. AODV'de yönlendirilen paket sayısı.....	44
Şekil 6.4. Geliştirilen protokolde yönlendirilen paket sayısı	45
Şekil 6.5. AODV'de atılan paket sayısı	46
Şekil 6.6. AODV'de 0-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi	47

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. İkinci senaryoda ağda yönlendirilen paket sayısının düğümlere göre dağılımı	48
Şekil 6.8. Geliştirilen protokolde atılan paket sayısı	49
Şekil 6.9. Geliştirilen Protokol’de 0-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi	50
Şekil 6.10. Geliştirilen Protokol’de 1-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi	50
Şekil 6.11. 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişimi	51
Şekil 6.12. Geliştirilen protokolde 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişimi	52
Şekil 6.13. Geliştirilen protokolde 2,3,4 numaralı düğümlerin enerji değişimi.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

s

Saniye

α

Vektör Sapma

Kısaltmalar

Açıklama

ACK

Geri Bildirim Paketi

ATM

Asynchronous Transfer Mode

AODV

Ad-hoc On-demand Distance Vector

CBR

Constraint Based Routing

CSMA

Carrier Sense Multiple Access

DARPA

Defense Advanced Research Projects Agency

DSR

Dynamic Source Routing

DSDV

Destination-Sequenced Distance Vector

EA

Ev Ajanı

FTP

File Transfer Protocol

FSM

Free Space Model

GRM

Ground Reflection Model

HLR

Home Location Register

IETF

Internet Engineering Task Force

IP

Internet Protocol

LEO

Low Earth Orbit

LOS

Line Of Sight

MAC

Media Access Control

MANET

Mobile Ad Hoc Networks

MCN

Multi-hop Cellular Networks

Kısaltmalar**Açıklama**

MCS	Mobile Switching Center
Mobile IP	Mobile Internet Protocol
NAM	Network Animator
QoS	Quality of Service
PCS	Personel Communication Systems
WRP	Wireless Routing Protocol
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
PLMN	Public Land Mobile Networks
VLR	Visitor Location Register
SS7	Signal System 7
SIG	Special Interest Group
SM	Shadowing Model
SOPRANO	Self Organizing Packet Radio Ad-hoc Networks
SURAN	Survivable Radio Network
TCP	Transmission Control Protocol
TGR	Two Ray Ground Model
YA	Yabancı Ajan
ZRP	Zone Routing Protocol

1. GİRİŞ

Son yıllarda insanların bilgiye ulaşmak için istekleri arttıkça bilgiye ulaşma şekilleri de değişmeye başladı. Artık insanlar istedikleri zaman istedikleri yerden bilgiye ulaşma yollarını aramaya başladı ve bu arayış kablosuz ağlar üzerindeki ilginin artmasına sebep oldu. Kablosuz ağların kullanımı kablosuz ağlara göre hem daha kolay, hem de daha az maliyetlidir. Kablosuz ağlar insanların kullanım açısından tercihinin yanında ağ yöneticileri içinde büyük kolaylıklar getirmektedir ve artık daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Büyük bir binada sonradan sistem ve ağ mimarisi oluşturmak çok zordur, ulaşılması zor katlara kablo çekmek ve ağ cihazları yerleştirmek oldukça zahmetli ve maliyetli olmaktadır. Kablosuz ağlar böyle durumlarda hem çok daha zahmetsiz hem de maliyet olarak çok tasarrufludur. Ayrıca bir ağ kablosuna ihtiyaç duyulmaması mekandan mekan'dan bağımsız olarak ağ kaynaklarına erişim olanağı sağlamaktadır.

Kablosuz ağlar altyapılı ve altyapısız olarak ikiye ayrılır. Altyapılı ağlar bir erişim noktasının yada bir baz istasyonunu yönlendiricilik işlemini yaptığı ağlardır. Düğümler birbirlerine paket göndermek için ya da ağ kaynaklarına erişmek için bir erişim noktası kullanırlar. Erişim noktası bir güç kaynağı kullanır ve erişim noktası kullanılmaz durumda olursa bütün ağ kullanılmaz duruma gelir. Hücreli hareketli ağlarda ise bu erişim noktası bir baz istasyonudur. Düğümler bu baz istasyonunun kapsama alanı içinde oldukları sürece birbirlerine paket gönderebilir. Düğümler birbirlerine direk ulaşamazlar, yönlendirici işlemini baz istasyonu yapar.

Ad-hoc ağlarda ise her düğüm hem yönlendirici hem de kullanıcıdır. Bir altyapıya sahip değildir. Bir düğüm bir düğüme paket gönderirken ya direk gönderir ya da başka bir düğümün yönlendiriciliğinde gönderir.

Ad-hoc ağların kullanımı sırasında dinamik yapılarından kaynaklanan problemler yaşanmaktadır. Bu problemlere yönelik başta akademik alanlar olmak üzere birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalara yönelik olarak Internet Engineering Task Force (IETF) tarafından ad-hoc ağlarda yönlendirme protokolleri üzerine çalışmalar

yapan Mobile Ad-hoc Networks (MANET) adında bir çalışma grubu kurulmuştur. Ad-hoc ağlara yönelik olarak birçok yönlendirme protokolü oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Bu protokollerden en çok kullanılanlar ise Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) [1], Wireless Routing Protocol (WRP) [2], Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [3], Zone Routing Protocol (ZRP) [4], Dynamic Source Routing (DSR) [5] ve Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) [6] protokolleridir. Bu protokoller genel olarak tıkanıklık problemi üzerine çözüm oluşturmaya yöneliktir. Fakat bu çalışmalarda ad-hoc ağlarda düğümlerin hareketli ve enerjilerinin sınırlı olması göz önüne alınmamıştır. Zeki bir yönlendirme protokolü mesajı hedefe hızlı ve eksiksiz göndermenin yanında limitli kaynaklarını da etkili kullanırlar [11].

Bu tezde, ad-hoc ağları oluşturan düğümlerin enerjilerinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan protokol geliştirilmiştir. Bu yapılırken bazı düğümlerin enerjilerinin diğer düğümlere göre daha hızlı azalması engellenmiş ve her düğümün maksimum süre ağa bağlı kalması sağlanmıştır. Her düğümün enerjisi belirli bir eşik seviyesinin altına düştüğü zaman kendisine paket göndermekte olan düğümleri uyarır ve diğer düğümler aktarımı başka bir yola aktarır.

Literatür Özeti

Ad-hoc ağların temeli eski çağlara dayanmaktadır. M.Ö 3. yüzyılda Metehan'ın kullandığı haberleşme yöntemi çok atlamalı mantığa dayandığından örnek olarak gösterilebilir. Metehan geliştirdiği ısıklı ok tekniğinde okların arkasına delikler delerek hem daha uzağa gitmesini sağlamış hem de giderken ses çıkarmasını sağlamıştır. Ok bir sonraki mesajcıya atıldığında ses çıkardığından mesajcı sesi takip ederek okun nereye düştüğünü daha rahat bulabilmekteydi. Oku bulan mesajcı üzerinde mesaj yazılı olan oku bir sonraki mesajcıya aynı şekilde fırlatmaktaydı. Eski çağlarda bu yöntem bir çok değişik şekilde kullanılmıştır ve bu yöntem ad-hoc ağların atası olarak kabul edilmektedir.

Ad-hoc ağların kullanım alanları genelde bir altyapının kurulumunun zor ya da imkansız olduğu yerlerdir. Gerçekleşen kullanım alanları da altyapı kurulumunun zor olduğu alanlardır. Askeri operasyonlar, askeri araçların birbiri ile iletişimi, acil yardım operasyonları, melez ağlar ve anlık ağ kurulması gereken durumlar ad-hoc ağların kullanım alanlarına örnek olabilir.

Taktiksel bir operasyonda bir grup askerin iletişimini sağlamaya uygundur. Girilmez bölgelerde ya da ani operasyon yapılması gereken yerlerde sabit bir ağ alt yapısı kurmak mümkün değildir. Bu durumlarda tasarsız hareketli ağar gereken yapının kurulması için idealdir. Kullanıma en uygun olduğu alan ise askeri araçların birbiri ile iletişimidir. Çünkü motorlu araçlarda tasarsız ağların en büyük problemi olan batarya rezervi yani enerji sorunu yoktur. Askeri operasyon araçları zaten güçlü enerji kaynaklarına sahip araçlardır.

Ad-hoc ağların geliştirilmesinde ilk adımlar tek atlamalı ağ altyapı çalışmaları ile başlamıştır. Norman Abramson ve arkadaşları 1970’de Hawai Üniversitesi’nde ALOHA net’i geliştirmişlerdir. ALOHA net tek atlamalı kablosuz paket anahtarlama ve tek kanal paylaşımı için erişim seçeneğini kullanmıştır. Aslında ALOHA net belirli tek sıçramalı kablosuz ağ için tasarlanmasına rağmen hedefi altyapılı olmayan farklı ortamlarda iletişimi sağlamaktır.

ALOHA net’in başarılı olması ve getirdiği yenilikler iletişimde büyük ilgi çekmesine sebep olmuştur, mesela Robert Metcalfe’nin Ethernet’i geliştirmesi ve Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) tarafından geliştirilen PRNET’de bulunmaktadır [7]. PRNET projesinin amacı askeri uygulamalar için kablosuz ağ paketi geliştirmektir. PRNET askeri uygulamalarda kullanılacak bir kablosuz ağ paketi geliştirilmesi amaçlı bir projeydi.

PRNET ortak radyo kanalına erişim için ALOHA kombinasyonunu ve Carrier Sense Multiple Access’i (CSMA) kullanmıştır [7]. Sistem kendini organize etmek ve yapılandırmak, ağ bağlanılabilirliğinin dinamik işlemesi için de belirli bir altyapıdan destek almadan radyo bağlanılabilirliğini bulmak üzere tasarlanmıştır. PRNET

projesinin ele aldığı temel konular, topoloji bilgisini elde etme, sürdürme ve bundan faydalanma, kablosuz linklerin hata ve akış kontrolü, düğümlerin işlem ve depolama kapasitesi ve dağıtılan kanal paylaşımını içermektedir. PRNET'in başarılı denemeleri, sivil ve askeri alan uygulamaların ve altyapısız ağların etkili kullanımını kanıtlamıştır [8].

DARPA, Survivable Radio Network (SURAN) projesi ile tek atlamalı kablosuz ağ üzerindeki çalışmayı genişletmiştir. SURAN projesi ad-hoc ağına küçük, düşük maliyetli, az güç harcayan aygıtlar sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. 1980'ler boyunca askeri uygulamalar üzerine yapılan araştırmalar tüm dünyada finanse edilmiştir [7]. Bilgisayar iletişiminde ortaya çıkan bu alanına getirilecek açık standartların ihtiyacının farkına varan IETF grubu ve MANET grubu telsiz kablosuz ağların işlevsel özelliklerini ve protokollerini standartlaştırmak yoluna gitmiştir [8]. Kablosuz ağlarda amaç, kendi kendini organize eden mobil ağ altyapısını desteklemek için geliştirilmiş standart yönlendirme fonksiyonelliğini geliştirmeyi sağlamaktır.

1994'te, İsveçli iletişim aygıtı üreticisi Ericsson, düşük güç harcayan, karmaşık ve pahalı olmayan radyo arabirimi geliştirmeyi önermiş ve Bluetooth denilen iletişim protokollerini birleştirmiştir [7]. Bunu daha sonra Special Interest Group'da (SIG) denemiştir. 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia ve Toshiba gibi şirketler SIG grubuna dahildir. Bluetooth, telsiz kablosuz ağın gerçekleştirdiği ilk ticari olaydır. Bluetooth tek atlamalı kablosuz linki standartlaştırmaktadır [7].

Telsiz kablosuz ağlar, belirli altyapıların olmadığı durumlarda kullanılmak istenmesine rağmen, kablosuz ağ yapıları alanındaki son gelişmelere bakılırsa, hareketli telsiz ağlar düğümlerinin altyapı olduğu zamanlarda da kullanılabileceği ilginç çözümler üretilmektedir. Multi-hop cellular networks (MCNs) ve kendi kendini organize eden Self Organizing Packet Radio Ad-hoc Networks (SOPRANO) bunlara birer örnektir [9,10]. Bu karma yapılar (hücrel ve ad-hoc kablosuz ağları birleştiren) sistemin kapasitesini önemli oranda artırmaktadır. Ad-hoc kablosuz ağın

sunduğu imkânlar olsa da, başarılı ticari yayılımlar farklı problemlere gerçekçi çözümler istemektedir. Bunlara örnek gerçek zamanlı uygulamalar ile hizmet kalitesi olarak gösterilebilir.

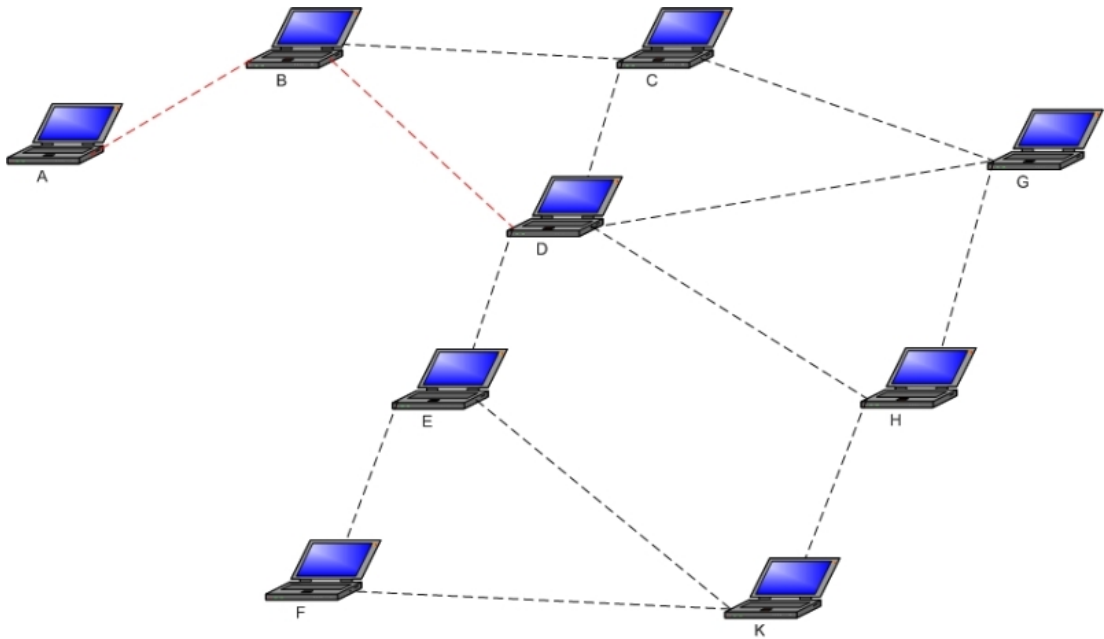
Ad-hoc ağların dinamik yapısından kaynaklanan ve ticari alanda gerçek zamanlı kullanımının önünde en büyük engellerden biri olan enerji problemine yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar enerji etkin (power-aware) yönlendirme protokolleri diye adlandırılır. Singh ve arkadaşları 1996 yılında yaptıkları çalışmada daha önceki yönlendirme algoritmalarının ölçütlerini incelemiş ve enerji verimliliğini göz önünde bulunduran bazı yeni ölçütlerin eklenmesi gerektiğini önermişlerdir [12]. Gelenbe, 2000 yılında yeni bir ağ mimarisi önermiştir. Bu mimari kavramsal paket ağı (cognitive packet network) 'dır ve paketlerin yapay zeka kullanarak tercih yapabilmesine dayalıdır [13]. Gelenbe ve arkadaşları 2003 yılında enerji verimliliği yanında servis kalitesi konusunda çalışmalar da yapmışlardır. Bu çalışmalar diğer yönlendirme çözümlerinden farklı ve kaynakları etkin kullanma bakımından daha başarılı olmuştur [14-18]. Li ve arkadaşları 2001, Toh ve arkadaşları 2001 ve Misra ve arkadaşları 2002 yıllarında yaptıkları çalışmalarda öncelik sırası olmadan, bütün düğümlerin diğer düğümlerin enerji seviyesini tuttuğu çalışmalar yapmışlardır. Ancak dağınık bir ortamda bu bilgileri dinamik olarak her düğümden tutmanın zor olduğunu vurgulamışlardır [19-21].

2. AD-HOC AĞLAR'DA ENERJİ YÖNETİMİ

Bu bölümde önce ad-hoc ağların işletim prensiplerine değinilecek, sonra ad-hoc ağlarda enerji problemi ve problemin nedenleri üzerinde durulacaktır. Son olarak enerji yönetimi ölçütlerine ve yönetimin nasıl yapılacağına değinilecektir.

2.1. Ad-hoc Ağlar İşletim Prensipieri

Hareketli bir ad-hoc ağın genel çalışma şekli. Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Burada A düğümü, düğümler arasında bir telsiz kanalının uygun hale gelmesiyle diğer bir düğüm olan B düğümü ile doğrudan iletişim kurmaktadır.

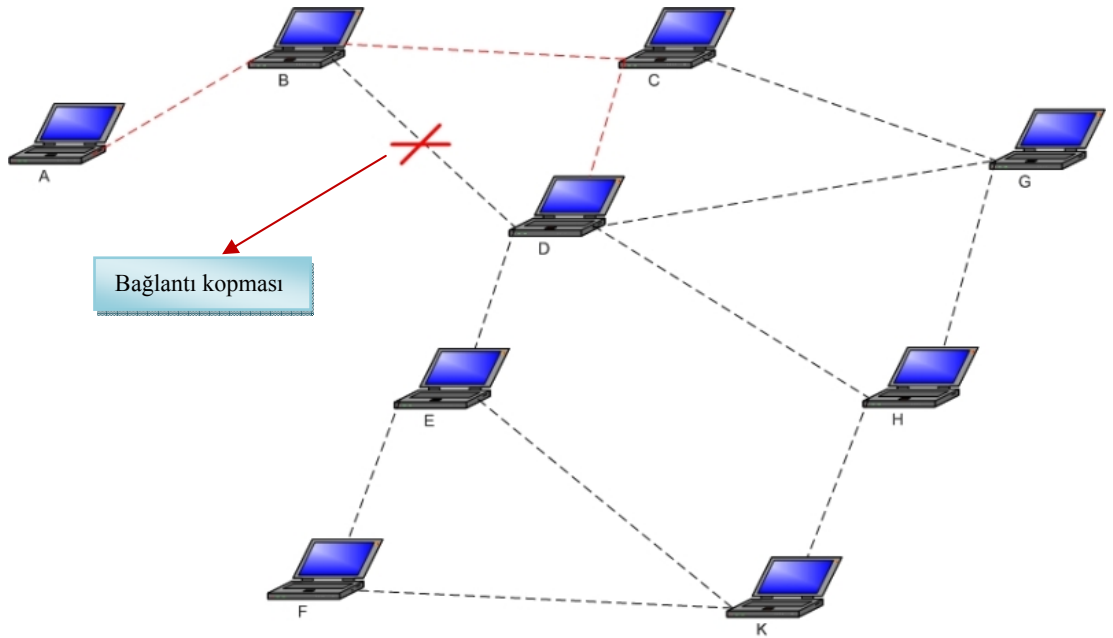


Şekil 2.1. Ad-hoc ağlara örnek

Doğrudan bir telsiz kanal uygun değilse bir veya birkaç tane düğümün yönlendirici olarak görev yaptığı çok atlamalı bir iletişim meydana gelecektir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi A ve C düğümleri veya A ve D düğümleri arasında hiç bir doğrudan telsiz kanalı bulunmamaktadır. B ve D düğümleri, sırasıyla A ve C veya A ve E düğümleri arasındaki iletişim için ara yönlendirme olarak hizmet görmektedirler. Ad-hoc ağların ayırt edici özelliklerinden en önemlisi, bütün düğümlerin paketler için

kaynak ve varış noktası olarak hizmet görebilmesinin yanında yönlendirici olarak ta hizmet verebilmesidir.

B ve D düğümleri Şekil 2.1’de olduğu gibi direk iletişim kuramıyorsa, yada çeşitli nedenler aradaki bu bağlantı kaybolursa, A düğümü D düğümüne göndereceği paket için yine B düğümünün yönlendiriciliğinde paketi gönderir fakat B ve D arasında doğrudan bağlantı olmadığı için yönlendirme tablosunu günceller ve yol Şekil 2.2’de gösterildiği gibi olur.



Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topoloji güncellemesi

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi B ve D arasındaki bağlantı kullanılmaz hale geldiğinde A düğümü D düğümüne paket göndermek istediğinde A düğümü paketi B düğümüne yönlendirir, eğer o anda E düğümü ile de bir bağlantı kullanılır hale gelseydi, A düğümü E düğümünün yönlendirme tablosunu da kendisinininki ile değiştirecekti ve $A \rightarrow E \rightarrow D$ yolunun da kullanılması muhtemel olacaktı. Ancak $A \rightarrow E$ yolu kullanılır olmadığından A düğümü paketi yönlendirme tablosunda olan B düğümüne gönderir ve B düğümü D düğümü ile arasındaki bağlantı kullanılmaz halde olduğundan yönlendirme tablosunu günceller ve diğer düğümler ile paylaşır. C düğümünün

yönlendirme tablosunda D düğümü ile bağlantı olduğundan paketi C düğümüne yönlendirir. Güncellenen yeni bağlantı $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ şeklinde olur. Bu andan sonra her düğümün ağda oluşan bu yeni topolojiyi kendi tablosuna kaydetmesi gerekir.

Düğümler hareketli olduğundan zaman içerisinde erişilebilirlik ilişkileri değişebilmektedir. Başka nedenler de düğümler arasındaki ulaşılabilirlik ilişkisini etkiler. Örneğin bir düğüm kapsama alanı dışına çıkabilir veya çok uzaklaşabilir, enerjisi tükenebilir ya da yazılım veya donanım hatasından dolayı düğümler arasındaki ilişki değişebilir. Ağa giderek daha fazla sayıda düğüm katıldıkça ya da bazı mevcut düğümler ayrıldıkça, topoloji güncellemeleri giderek daha fazla sayıda, daha karmaşık hale gelerek, kullanıcı verilerini takas etmek üzere kullanılabilir olan ağ kaynaklarını ortadan kaldırmaktadır. Eğer ağ topolojisinde sık sık değişiklikler meydana gelirse, kaynak - hedef düğümleri arasında döngü oluşmayan bir yol bulmak imkânsız hale gelebilmektedir. Bundan dolayı, düğümler arası iletişim kurma, artan hareketlilikle zayıflamakta ve sonuç olarak ağ topolojisi bilgisi artan oranda uyumsuz hale gelmektedir. Eğer bir ağ topoloji değişimi bütün topoloji güncellemelerinin gerektiği şekilde başarıyla aktarılmasına izin verecek kadar yavaşsa veya yönlendirme algoritması sonraki değişim meydana gelmeden önce ağdaki değişiklikleri başarıyla aktarmaya yetecek kadar verimli ise kombinasyon olarak dengelidir denilebilir. Açık bir şekilde kombinasyon dengesi ağların yalnızca bağlantı özellikleri ile belirlenmemekte aynı zamanda diğer pek çok ağ arasında kullanılmakta olan yönlendirme protokolünün verimi ve düğümlerin anlık hesaplama kapasitesi tarafından da belirlenmektedir. Böylece kombinasyon dengesi bir ad-hoc ağ içerisindeki verimli yönlendirme amaçlarını başarmak için göz önünde bulundurulması gereken hayati bir işlevi gerçekleştirmektedir.

Yönlendirme algoritmalarının özellikleri

Ad-hoc ağlar için şu ana kadar pek çok yönlendirme protokolü önerilmiştir. Bu önerilen protokollerin her biri bir önceki yaklaşıma göre bazı avantajlar sunmaktadır. Ancak bir ad-hoc ağı yönlendirme protokolünün sahip olması gereken genel özellikler vardır. Bunlar;

Döngüsüzlük: Kaynaktan hedef noktasına giden yolda döngülerin olması verimsiz yönlendirmeye neden olmaktadır. En kötü durum senaryosuna göre, paketler döngüye girer ve süresiz olarak gidip gelmeye devam eder ve varış noktalarına hiçbir zaman ulaşamazlar.

Dağıtık kontrol: Merkeziyetçi yönlendirme planında bir düğüm bütün topolojik bilgileri alıp kaydetmekte ve bütün yönlendirme kararlarını bu düğüm vermektedir. Dolayısıyla ölçeklenebilir değildir. Bir merkezi yönlendirici olduğu için tek noktada olabilecek bir başarısızlık sistemin tıkanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca merkezi yönlendiricinin yakınlarındaki ağ yönlendirme sorguları ve yanıtlarının oluşturacağı trafikten dolayı ağ tıkanabilmektedir.

Hızlı yönlendirme: Yönlendirme kararlarının çok hızlı verilmesi ve yeni oluşan topolojinin düğümlere bildirilmesinin hızlı olması hatta oluşabilecek trafiği azaltmaktadır. Bu sayede yönlendirme çok hızlı şekilde yapılabilmekte ve daha çok veri gönderilebilmektedir.

Topoloji değişiklikleri sırasında oluşabilecek tepkiler: Ağın bir bölümünde meydana gelen topoloji değişiklikleri ağın uzakta bulunan diğer kısımlarındaki yönlendirme stratejisinde fazla değişiklik meydana getirmemelidir. Bu durum yönlendirme tablolarının güncelleme olaylarını kontrol altında tutmakta ve algoritmayı daha ölçeklendirilebilir hale getirmektedir.

Yolların çokluluğu: Düğüm hareketliliği bazı yollarda kesintiye neden olsa bile, diğer yollar paketin teslim edilmesi için kullanılabilir olmalıdır.

Güç açısından verimli: Bir yönlendirme protokolü güç açısından verimli kullanılmalıdır. Yani protokol yükü eşit dağıtılmalıdır, aksi takdirde bağlantısı kopan düğümler topolojilerin parçalanarak bazı yolların erişilemez hale gelmesine neden olabilmektedirler.

Güvenlik: Yönlendirme protokolleri güvenli olmalıdır. İletişim düğümleri için kimlik doğrulama, hattın dinlenmesi, yönlendirmenin hatalı yapılmasını gibi olayları önlemek ve hattın daha güvenli olması için veri iletişiminin şifreli şekilde yapılmasını sağlamak gerekmektedir.

Hizmet kalitesi: Yönlendirme protokollerinin hizmet kalitesi üst seviyede olmalıdır. Hizmet kalitesi, bir kaynak ve hedef düğümünde meydana gelebilecek gecikmeleri ve işlem kapasitesi hakkında bilgi sahip olmalı ve gerçek zamanlı bir uygulamanın başarılı olabileceği süreyi doğrulayabilmelidir.

2.2. Ad-hoc Ağlarda Enerji Problemi

Ad-hoc ağlarda enerji yönetimi bir düğümün ağ üzerinde en uzun süre kalmasını sağlamak açısından önemlidir. Ağın devamlılığı ağı oluşturan düğümlerin en uzun süre ağda mevcut olmalarına bağlıdır. Çünkü ad-hoc ağlarda kullanıcılar da yönlendiriciler de bu düğümlerin kendileridir. İletim aşamasında yönlendirici görevini yapan düğümün enerjisi tükenip ağdan düştüğü anda kuyrukta olan paketler iletilemez, yönlendirici ağdan düştüğü için ağ kaybolur ve yeni bir yönlendiricinin bu işi devralması gerekir, bu düşmeden dolayı hedefteki düğüm ağdan tamamen kopabilir. Ayrıca düğüm ağdan düşmeden önce kullanılan yol o anda gönderici ve hedef düğüm arasında ki en kısa yoldur, bu sebeple yeni kurulacak yol daha uzun bir yol olabilir. Yeni bulunacak olan yolun daha uzun ya da daha fazla düğüm üzerinden geçmesi demek o düğümlerin de daha fazla enerji tüketmesi demektir.

Enerji yönetimi gerekliliğinin nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- Limitli enerji rezervi
- Pil değişiminin zorluğu
- Merkezi bir yönetim sisteminin olmaması
- Pil kaynağındaki kısıtlar(boyut, ağırlık)
- Optimum taşıma gücünün seçimi

- Kanal kullanımı

Hareketli cihazlarda kullanılan pillerin rezervleri sınırlıdır, boyutlarının küçük olması gerekliliğinden dolayı kullanılan pillerin boyutları da sınırlı olmak zorundadır. Bir acil yardım operasyonunda ya da askeri bir operasyon sırasında yedek pil taşınsa bile değiştirmek zordur. Ad-hoc ağlarda hücreli ağlarda olduğu gibi merkezi bir yönetim sistemi olsaydı yönlendirme işi düğümlerin üzerine kalmazdı, ad-hoc ağlarda düğümler enerjilerinin büyük kısmı yönlendirme işlemi için kullanırlar. Bu yüzden bu işlem sırasında iletecekleri paket başına düşecek olan optimum enerji miktarını ayarlamak zorundadırlar.

2.2.1. Enerji yönetimi

Enerji yönetimi üç ana başlık altında toplanır.

Pil yönetimi ve tasarımı: Pilde kullanılan tekniklerle ilgilenir. Doğru teknoloji kullanımı ve en yüksek enerji kapasitesine ulaşılması konusunda çalışmalar yapılır.

Veri iletimi güç yönetimi: Tasarsız hareketli ağların düğümleri için optimum gücü bulmaya çalışır. Amaç düğümler arası taşıma işleminde gönderen ve köprü görevi yapan düğümlerin gereğinden fazla güç harcamasını engellemektir.

Sistem güç yönetimi: Tasarsız hareketli ağlar için bir düğüm anlamına gelen cihazın kendi donanımı ile ilgilidir. İşlemci veya görüntü aracının kullandığı enerji ile ilgili güç yönetimidir. Donanımın kullandığı gücü en aza indirmeye çalışan protokollerdir.

Enerji yönetiminin yoğunlaştığı başlık veri iletimi güç yönetimidir. Pil üretiminde bir devrim yaşansa ve çok büyük enerji rezervleri ile çalışan piller üretilse bile veri iletiminde kullanılan enerjinin en aza indirilmesi yine de gereklidir, enerji sonsuz değildir en uzun süre kullanılması amaçtır. Hareketli cihazlar tasarlanırken zaten

mümkün olan en yüksek enerji tasarrufu göz önüne alınmaktadır fakat ekran görüntüsü ya da işlemcinin işlem yaparken kullanacağı enerji miktarı da önemlidir.

3. KABLOSUZ AĞLARDA YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Kablosuz yönlendirme protokolleri farklı birçok kritere göre birçok gruba ayrılabilir. Bu sınıflandırmada kesin sınırlar yoktur. Bir yönlendirme protokolü birçok gurubun altına düşebilir. Genellikle, bu protokoller 4 guruba ayrılır [22]:

- 1- Yönlendirme bilgisi güncelleme mekanizması
- 2- Yönlendirme için geçici bilgi kullanmak
- 3- Yönlendirme topolojisi
- 4- Belirli kaynakların iyi kullanımı

3.1. Yönlendirme Bilgisi Güncelleme Mekanizması Tabanlı Olanlar

Kablosuz yönlendirme protokolleri bu başlık altında 3 ana başlığa ayrılırlar.

Kaynaktan yönlendiren veya tablo kullanan yönlendirme protokolleri

Bu yöntemde her düğüm tüm ağın topolojik bilgisini bir tabloda tutar. Bu tablodaki bilgiler periyodik olarak güncellenir ve düğümler arasında değiştirilir. Bir düğüm bir yol bilgisine ihtiyaç duyduğu zaman bu tabloya bakar.

Sekmelerde yönlendiren veya talep üzerine iş yapan yönlendirme protokolleri

Bu guruptaki protokoller tüm ağın topolojik yapısını tutmazlar. İstenilen bir yolu bulmak için o anda girişimde bulunurlar. Bunun için bağlantı tabanlı bir işlem yürütülür. Periyodik olarak bilgi alış-verişi bu tip protokollerde yoktur.

Karma yönlendirme protokolleri

Bu tipteki protokoller, yukarıdaki protokollerin iyi yanlarını birleştirmişlerdir. Her düğümün bir yönlendirme alanı vardır. Bu alandaki bir düğüme erişecekleri zaman

bu düğümlerin tutulduğu tabloya bakarlar. Erişmek istedikleri düğüm eğer yönlendirme alanının dışında ise bu durumda o anda bir istekte bulunurlar.

3.2. Yönlendirme İçin Geçici Bilgi Kullananlar

Kablosuz Tasarsız ağlarda düğümlerin hareketliliği ve bağlantıların kopması kablolu ağlara göre çok daha sık gerçekleşir. Bu yüzden seçilmiş olan yolun yaşam süresinin değerlendirilerek geçici bilgiler ile yönlendirme yapmak daha doğru olacaktır.

Geçmiş ve o andaki duruma bakarak yönlendirme

Bu guruptaki yönlendirme algoritmaları, bağlantıların geçmiş durumlarına ve o andaki durumlarına bakarak karar verirler. Örneğin, o andaki yollardan en kısası üzerinden paketler iletişime geçirilebilir.

Gelecekteki durumu tahmin ederek yönlendirme

Bu guruptaki yönlendirme algoritmaları, bağlantıların gelecekteki durumlarını tahmin ederek yönlendirmeye karar verirler. Gelecekteki durum tahminleri o düğümün batarya durumu, hareket yönü gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılır.

3.3. Yönlendirme Topolojisi Tabanlı Olanlar

Düz topoloji yönlendirme protokolleri

Bu kategorideki protokoller ağdaki her bir düğüm için (ya da en azından ağa bağlı bir düğüm için) tekil bir adres bilgisi kullanırlar.

Hiyerarşik topoloji yönlendirme protokolleri

Bu gruptaki protokoller ağ üzerinde mantıksal bir hiyerarşi kullanırlar ve bunu adresleme planı ile ilişkilendirirler. Bu hiyerarşi coğrafi bilgi tabanlı olabileceği gibi atlama sayısı ile ilgili de olabilir.

3.4. Belirli Kaynakların En İyi Kullanımı Tabanlı Olanlar

Güç-haberdar yönlendirme

Bu kategorideki algoritmalar tasarsız ağlarda çok önemli bir kaynak olan batarya'yı verimli kullanmayı amaçlarlar. Yönlendirme kararı yerel veya genel olarak batarya tüketimini en aza indirmeye yönelik verilir.

Coğrafi bilgi destekli yönlendirme

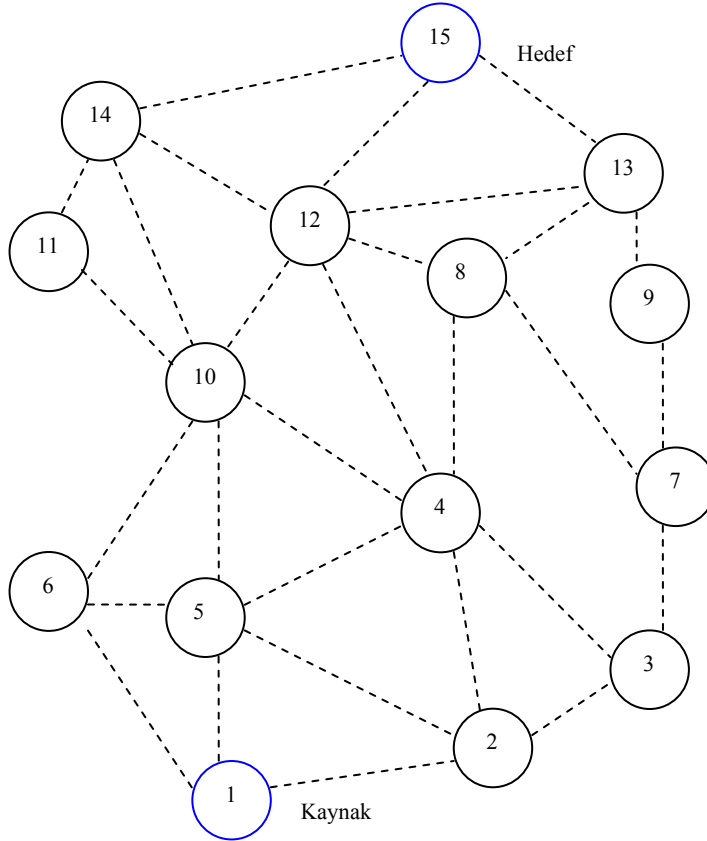
Bu gruptaki protokoller coğrafi bilgi kullanarak kontrol yükünü en aza indirmeyi amaçlarlar.

3.5. Hareketli Kablosuz Ağlarda Yönlendirme Protokolleri

Bu kısımda, ad hoc ağlarda sıklıkla kullanılan bazı yönlendirme protokolleri anlatılacaktır. Bu protokoller Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Destination sequenced distance-vector routing protocol – DSDV), Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü (Dynamic source routing protocol – DSR), Alan Yönlendirme Protokolü (Zone routing protocol – ZRP) ve Tercih Edilen Bağlantı Tabanlı Yönlendirme Protokolü (Preferred link-based routing protocols – PLBR)'dür.

3.5.1. Hedef sıralı uzaklık vektörü yönlendirme protokolü

Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Destination sequenced distance-vector routing protocol – DSDV) kablosuz ağlar için tasarlanan ilk protokollerden biridir. Her bir düğüm, ağdaki diğer düğümler için bir yol bulunan tablo tutar. Her satırda hedef düğüm, sonraki düğüm, uzaklık ve sıra numarası kayıtlıdır. Sıra numarası o yolun güncelliğini gösterir. Bir düğüm topolojide anlamlı bir değişiklik gördüğü zaman kendi tablosunu diğer düğümlere gönderir. Değişiklik büyük ise bütün tablo gönderilir, değilse sadece o parçası gönderilir. Bir düğüme giden yol ile ilgili bir değişiklik olduğu zaman bu durum komşu düğümlere daha yüksek bir sıra numarası ile bildirilir. Bu değişikliği alan her düğüm, yönlendirme tablosunu günceller ve değişikliği kendi komşularına bildirir. Bu şekilde bütün ağ bu değişiklikten haberdar olur [7, 23]. Şekil3.1’de örnek bir ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1. Örnek ağ yapısı

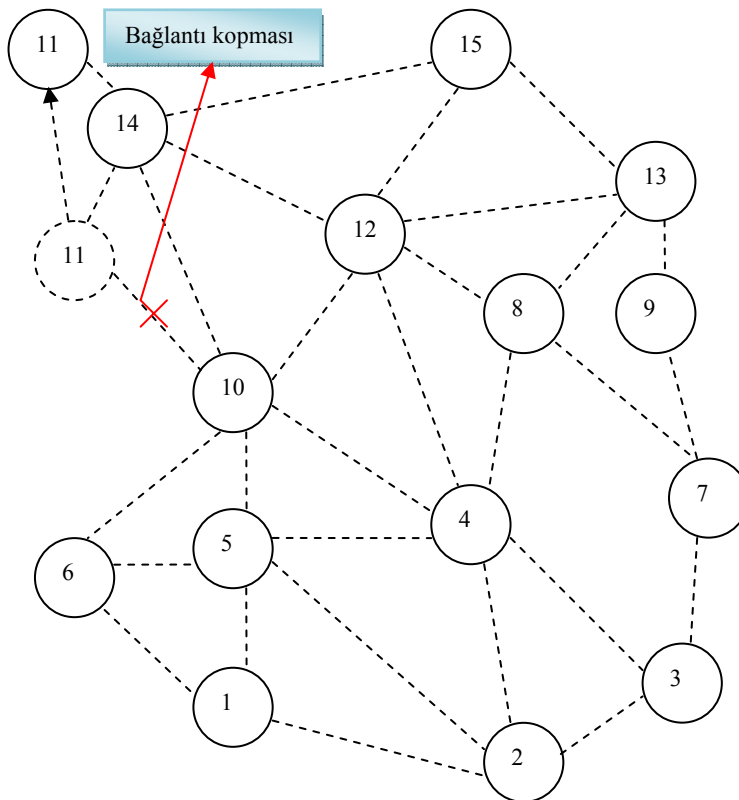
Şekil 3.1’de görülmekte olan örnek ağ yapısında 15 tane düğüm bulunmaktadır ve her bir düğüm, kendisine komşu olmayan düğümlerle haberleşmek için komşu düğümleri kullanmaktadır. Yani düğümler ad hoc olarak bir kablosuz ağ oluşturmuşlardır. Bu örnek ağda 1 numaralı düğüm kaynak düğüm olarak, 15 numaralı düğüm de hedef düğüm olarak seçilmiştir. Çizelge 3.1’de örnek ağda yer alan 1 numaralı düğümün yönlendirme tablosu görülmektedir.

Çizelge 3.1. 1 numaralı düğümün yönlendirme

Hedef	Sonraki Düğüm	Uzaklık	Sıra Numarası
2	2	1	22
3	2	2	26
4	5	2	32
5	5	1	134
6	6	1	144
7	2	3	162
8	5	3	170
9	2	4	186
10	6	2	142
11	6	3	176
12	5	3	190
13	5	4	198
14	6	3	214
15	5	4	256

Çizelge 3.1’de 1 numaralı düğümün, ağdaki diğer düğümler (Hedef) ile haberleşebilmesi için hangi düğümü kullanacağı (Sonraki Düğüm), hedef düğüme olan mesafesi (Uzaklık) ve bu yolun güncelliği (Sıra Numarası) gösterilmektedir. Ağ yapısında bir değişiklik olduğu zaman her düğümün yaptığı gibi 1 numaralı düğüm de yönlendirme tablosunu günceller.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi 10 numaralı düğüm ile 11 numaralı düğüm arasındaki bağlantı 11 numaralı düğümün hareketliliğinden dolayı kopmuş olsun. Bu durumda 10 numaralı düğüm artık kendisinin doğrudan 11 numaralı düğümle bir bağlantısının olmadığını ağa duyururken, 14 numaralı düğüm 11 numaralı düğümle yeni kurduğu doğrudan bağlantısını daha yüksek bir sıra numarası ile ağa duyurur.



Şekil 3.2. Yol kopması

Duyuruları alan her düğüm gibi 1 numaralı düğüm de yönlendirme tablosunu, yeni gelen bilgiler doğrultusunda değiştirir. 11 numaralı düğüme giden yol 6 numaralı düğümden geçmekteyken ve uzaklık 3 iken, güncelleme sonrasında 11 numaralı düğüme giden yol değiştirilerek 5 numaralı düğümden geçmekte ve uzaklık 4 olmaktadır. Yolun güncelliğini gösteren sıra numarası değeri de değiştirilmiş ve 180 olarak atanmıştır. Bu değer, ilgili yolu ağa duyuran düğüm tarafından bu bağlantıya atanan bir değerdir. 1 numaralı düğümün, güncelleme sonrası elde edilen yönlendirme tablosu Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Güncelleme sonrası 1 numaralı düğümün yönlendirme

Hedef	Sonraki Düğüm	Uzaklık	Sıra Numarası
2	2	1	22
3	2	2	26
4	5	2	32
5	5	1	134
6	6	1	144
7	2	3	162
8	5	3	170
9	2	4	186
10	6	2	142
11	5	4	180
12	5	3	190
13	5	4	198
14	6	3	214
15	5	4	256

Çizelge 3.2’de kalın olarak gösterilen satır, güncelleştirilen satırdır. Yukarıda anlatılan yol güncelleştirme işlemi bütün tablo değil yalnızca ilgili satır güncellenmiştir.

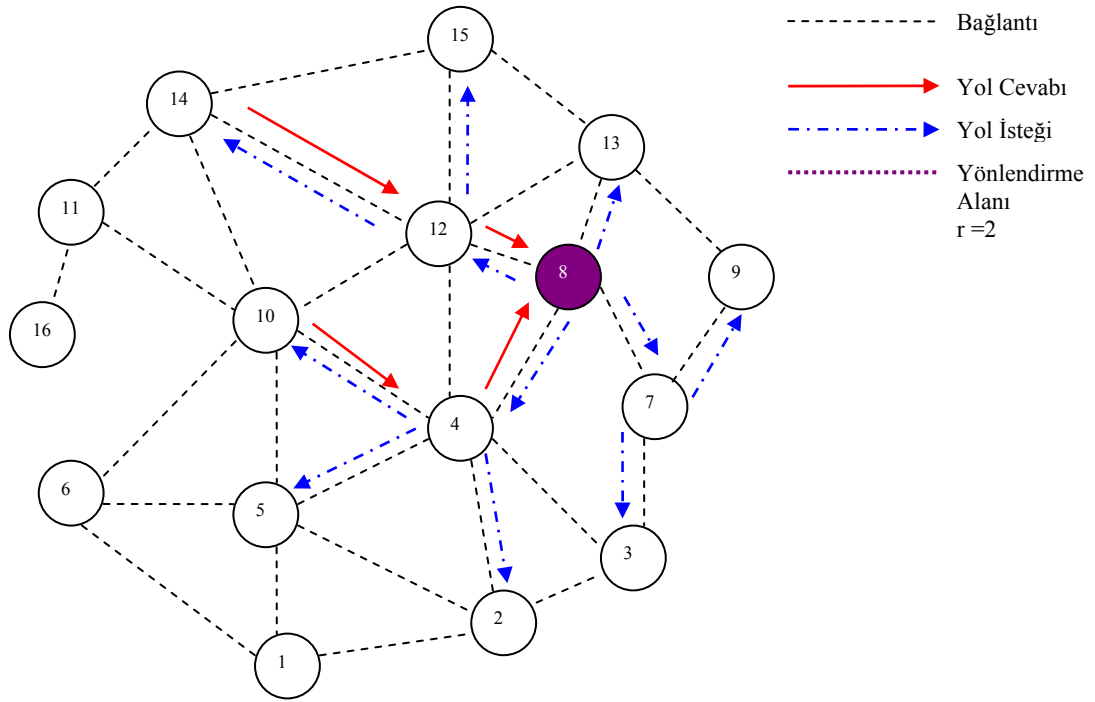
3.5.2. Dinamik kaynak yönlendirme protokolü

Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü (Dynamic source routing protocol – DSR), tablo kullanan protokollerde olan tablo güncellemelerinin ağ üzerinde taşınması ile meydana gelen yükün azaltılmasını sağlar. Bu protokolün en büyük farkı periyodik “merhaba” mesajlarının olmamasıdır. Bu ve diğer talep üzerine yönlendirme protokollerinin en büyük özelliği yol kurulması aşamasında yönlendirme isteği mesajının ağ üzerinden sel şeklinde gönderilmesidir. Hedef düğüm bir yol isteği paketi aldığı zaman buna yol cevabı paketi ile cevap verir. Kaynak düğüm tarafından yollanan yol isteği paketinin bir sıra numarası vardır. Bu numara sayesinde ara

3.5.3. Alan yönlendirme protokolü

Alan Yönlendirme Protokolü (Zone routing protocol – ZRP), proactive ve reactive algoritmaların iyi taraflarını bir araya getirmiştir. Bu algoritmadaki temel kavram, her bir düğüm için r-atlama sınırlı bir alan içerisinde proactive yönlendirme algoritması uygulamak, alan'lar arasında ise reactive bir algoritma uygulamaktır. Bir düğüm başka bir düğüm'e bir veri göndereceği zaman ilk olarak o düğüm'ün kendi alanında olup olmadığını kontrol eder. Hedef düğüm kendi alanında ise paketi doğrudan yollar. Hedef düğüm kendi alanında değilse, kendi alanında olan düğüm'lere yayın olarak yol isteği paketi yollar. Paketi alan düğüm'lerden herhangi birinin alanı içerisinde bu düğüm varsa, kaynak düğüme yol cevabı paketi gönderilir. Bu yol cevabı paketi içerisinde hedef düğüme giden yol bulunur. Yol cevabı paketini alan kaynak düğüm, verileri yollamaya başlar. Paketi alan düğüm'lerden hiçbirinin alanı içerisinde bu düğüm yoksa bu düğümler de yayın olarak kendi alanlarındaki komşularına yol isteği paketi yollarlar. Bu işlem, hedef düğüm bulunana kadar devam eder [7, 24]. Şekil 3.4'te ZRP'de bir yol bulma işlemi gösterilmektedir.

Şekil 3.4'te 8 numaralı düğüm kaynak düğüm olarak, 16 numaralı düğüm de hedef düğüm olarak seçilmiştir. Düğümlerin alanları, kendilerinden 2 sonraki düğümlere kadardır. Bu yüzden 8 numaralı düğümün gönderdiği yol isteği ile olarak kendisinin komşularına ve onların komşularına iletilir. Paketi alan düğümlerden yalnızca 10 ve 14 numaralı düğümler, hedef olan 16 numaralı düğüme giden bir yola sahiptirler ve bu düğümlerden yol cevap mesajı 8 numaralı düğüme gönderilir.



Şekil 3.4. Alan yönlendirme protokolünde 8 ve 16 düğümleri arasında yol bulma

3.5.4. Tercih edilen bağlantı tabanlı yönlendirme protokolü

Tercih Edilen Bağlantı Tabanlı Yönlendirme Protokolü'nde (Preferred Link-Based Routing Protocols – PLBR), alınan yol isteği paketlerinden yalnızca sağlam bir bağlantıdan gelenin dikkate alınması esastır. Kablolu ağlar da buna benzer yöntemler kullanırlar. Kablolu ağlarda en az bekleme süresi, en az maliyet gibi çeşitli kriterler göz önünde bulundurularak, mevcut yollardan bir tanesi seçilir. Tasarsız ağlarda bir tane yol seçmek uygun olmayabilir. Çünkü ağ topolojisi ve bağlantı kalitesi sürekli değişmektedir.

Sisodia ve arkadaşları, komşu düğümler arasından bazılarını seçmek için iki tane algoritma geliştirmişlerdir [7]. Seçilen bu komşuların bulundukları listeye Preferred List - PL adı verilir. Birinci yol, en fazla komşusu olan düğümleri bu listeye almaktır. Böylece, en az yayın ile en çok düğüme ulaşmak mümkün olacaktır. İkinci yol ise, yolun sağlamlığına göre düğüm seçmektir. Her bir düğüm, kendi komşularının ve

onların komşularının bilgilerinin kayıtlı olduğu bir tablo tutar (Neighbor's Neighbor Table-NNT). Bağlantı kurulma aşamasında, hedef düğüm ile ilgili kayıt, kaynak düğümün NNT'sinde varsa, bu düğüm ile doğrudan haberleşmeye geçilir. Hedef düğümün kaydı NNT'nin içerisinde yoksa kaynak düğüm, içerisinde kaynak düğümünün adresi, hedef düğümün adresi, tekil sıra numarası, geçilen yolların listesi ve PL'nin bulunduğu bir yol isteği paketi yayınlar. Bu paketi alan düğümlerin herhangi bir tanesinin NNT'sinde hedef düğüm varsa, hedef düğüme doğru yol isteği paketini gönderir. NNT'nin içerisinde hedef düğüme giden birden fazla yol varsa bunlardan bir tanesi rasgele seçilir. Eğer yol isteği paketini alan hiçbir düğümün NNT'sinde hedef düğüme ait bilgi yoksa yol isteği paketini yönlendirirler [7, 25].

4. ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Ad-Hoc kablosuz ağlardaki yönlendirme işlemi, her bir düğüm için çok önemli bir kaynak olan batarya faktörünü dikkate alarak, geleneksel kablolu ağlar ve hücreli kablosuz ağlarda yönlendirme işleminden sapmalar göstermektedir [13]. Çünkü, ad-hoc ağlarda yönlendiriciler düğümlerdir ve düğümler enerjileri olduğu sürece yönlendirme yapabilirler.

Enerji haberdar yönlendirme ölçütleri

İşlemler için kullanılabilir güç seviyesinin sınırlı olması ciddi bir darboğazdır. Bu darboğazın nedeni, hareketlilik ihtiyacı, cihazın boyutları ve cihazların ticari olarak elde tutulur (hand-held) şekilde üretilmediği. Bu nedenlerden ötürü, yönlendirme ölçütlerini dikkate alarak, ağın düğümlerinin güç kaynaklarının etkin biçimde kullanılması ve düğümlerin yaşam sürelerinin uzatılması önem kazanmaktadır. Singh ve arkadaşları, batarya seviyesini etkin kullanmaya yönelik bir yönlendirme ölçütleri kümesi önermişlerdir [13].

Paket başına en az enerji tüketimi

Bu ölçüt, kaynak düğümden hedef düğüme doğru hareket eden bir paket için en az enerjinin kullanılmasını amaçlamaktadır. Bir paketin hedefe varması için gerekli olan toplam enerji, aradaki düğümlerin paketi iletmesi için gerekli olan enerji toplamından ibarettir. Bir ara düğümdeki enerji tüketimi, bağlı olduğu diğer düğüme olan uzaklığı ve o bağlantının yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Bu ölçüt, yük dağılımı yapmadığı için, ağın genelinde tüketilen enerjinin eşit olmasını sağlar. Bu ölçütün dezavantajı, uzun yolları seçmeye izin vermesi, düğümdeki yük değişiminin algılanamaması sonucu o düğümün çok enerji tüketmesi ve hattan düşmesine neden olmasıdır.

Ağ bağlanılabilirliğini en yükseğe çıkartmak

Bu ölçüt, ağı alt ağlara bölerek bu alt ağlar arasındaki yük dağılımını eşitler. Bu yaklaşımda, ağ bağlanılabilirliğinin yük dağılımı ile en iyi seviyede tutulması amaçlanır. Ağdaki değişken trafik üretimi ve sınırsız çekişmelerden dolayı düzenli batarya dağılımını sağlamak mümkün olmayabilir.

Düğüm güç seviyelerinde minimum değişme

Bu ölçüt, yükü ağdaki tüm düğümler arasında dağıtarak, onların batarya tüketim seviyelerini düzenli biçime sokmayı hedef alır. Bu çok karışık bir iştir. Çünkü, veri paketlerinin değişen hızı ve büyüklüğü önceden kontrol edilemez. Buna yakın en iyi çözüm, “en az yoğun olan sonraki düğümden gönder” mantığı ile gerçekleştirilebilir.

Paket başına en az bedel

Ağdaki düğümlerin yaşam sürelerini uzatmak için bu ölçüt, düğümlerin batarya seviyelerinin bir fonksiyonu olarak alınır. Bir düğümün bedeli, o düğümün batarya seviyesinin artması ile azalır. Yönlendirme yapmak için, batarya seviyesini bir bedele çeviren bir fonksiyondan yararlanılır. Batarya seviyesindeki düşmenin deseni (fonksiyonu) çıkartılırsa, buna karşılık bir bedel hesaplanabilir. Bu ölçütün bir avantajı, bedel hesaplanması ile tıkanıklığın belirlenmesinin aynı anda yapılabilmesi olmasıdır.

En çok düğüm bedelini en aza indirmek

Bu ölçüt, belirli sayıda paketin iletilmesinden sonra veya belirli bir periyottan sonra iletilecek olan paket için düğüm başına düşen en çok bedeli en aza indirmeyi amaçlar.

5. GELİŞTİRİLEN ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

Bu bölümde önerilen enerji seviyesi belirleme yöntemi detayları ile anlatılmıştır. Yöntem 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Her düğümün enerji seviyesinin belirlenmesi yani kısa sürede enerjisinin tükenip tükenmeyeceğinin saptanması, eğer enerji seviyesi düşükse enerji seviyesi yüksek bir düğümün aranması ve bulunan yeni yol üzerine iletişimin aktarılması bu aşamaları oluşturur. Bu işlem yönlendirme görevini üstlenen düğümler üzerinde yapılmaktadır, kaynak veya hedefte bu işlem yapılsa bile zaten yolun iptal edilmesi yada alıcını veya göndericinin kapanması söz konusu olamaz çünkü paketlerin asıl muhatapları bu düğümlerdir.

5.1. Enerji Seviyesinin Belirlenmesi

Enerji seviyesinin hızlı biçimde tükeniyor olması ve bu seviyenin kritik değerin altına düşmesi o düğümün enerjisinin tükenecek olmasının habercisidir. Ad-hoc ağlarda düğümlerin paket gönderirken kullandıkları enerji seviyesi çeşitli sebeplerle değişmektedir, örneğin 10 metre uzaklıktaki bir düğüme paket gönderilirken kullanılan enerji miktarı ile 50 metre uzaklıktaki bir düğüme paket gönderirken kullanılan enerji miktarı farklıdır. Bu yüzden gönderilen paket sayısına göre enerjinin ne zaman tükeneceğini tahmin etmek imkansızdır. Enerji haberdar yönlendirme protokollerinde kullanılan tablodan karar verme, yapay zeka teknikleri veya buna benzer karışık teknikler düğümlere fazladan hesaplama yükü bindirmektedir. Önerilen yöntemde her düğüm kendi enerji seviyesini belirlemekte ve bu enerji seviyesine göre davranmaktadır. Enerji anlık değeri (EAD) ve enerji eşik değeri (EED) düğümlerin karar verirken kullanacağı kriterlerdir. Enerji anlık değer (EAD) enerji eşik değerinden (EED) küçük duruma geldiğinde düğüm kapanır ve kaynak düğümlere bu durumu bildirir. Kaynak düğümler bu durumdan dolayı alternatif düğümlere bakarlar ve yeni yol girişiminde bulunurlar.

```
if ((Düğümün enerji seviyesi düşüyorsa)&&(EAD <= EED))
{
    Düğüm kapanır ve bağlantı kopar
}
```

```

else
{
    Düğüm açık ve bağlantı kopmaz
}

```

Bağlantının kopup kopmayacağına karar verildikten sonra trafik buna göre şekillendirilir. Eğer bağlantının kopacağına karar verilmişse yeni bir yol kurularak buradan iletişime geçilir, bağlantının kopmayacağına karar verilirse aktarım olduğu gibi devam eder.

```

while (Tüm paketler bitene kadar)
{
    if (Düğüm Kapanır ve Bağlantı Kopar!= 0)
    {
        Mevcut bağlantıyı kullan
    }
    else
    {
        yeni_yol ara;
        if (Enerji seviyesi yüksek düğüm Varsa)
            Yeni bağlantıyı kullan;
        else    Mevcut bağlantıyı kullan;
    }
}

```

Yönlendirme işlemini yapan düğümün enerjisi eşik değerinin altında olursa, kaynak düğüm yeni bir yol arar. Enerji seviyesi yüksek bir düğüm bulunursa trafik bu düğümün üzerinden akar, enerjisi daha yüksek bir düğüm bulunamazsa trafik eski yoldan devam eder.

5.2. Benzetimin Gerçekleştirilmesi

Geliştirilen yeni protokolü test etmek ve elde edilen sonuçların bu konuda gerçekleştirilmiş diğer protokollerden elde edilecek sonuçlarla karşılaştırılması için ns-2(network simulator) benzetim aracı kullanılmıştır. ns-2 benzetim aracının seçilmesinin nedeni akademik çalışmaların genelde bu benzetim aracında yapılmış olması ve bize gerçek network ortamı sunmasıdır. Buna ek olarak, DSR, TORA ve

AODV gibi protokollerin ns-2 içerisinde tanımlanmış olmaları nedeniyle test aşama süresi kısalmıştır.

5.2.1. ns-2 ağ benzetim aracı

Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilen ns-2, kesikli benzetim aracı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde kullanılan bir çok ağ yapısını desteklemektedir. Yazılım dili olarak OTCL (Object Tool Command Language) kullanmaktadır. Bu benzetim aracı C++ dilinde yazılmıştır. Değişik senaryolar ve bu senaryoların kullandığı protokol ve düğümlerin birbirleriyle uyum içinde çalışmasını sağlamakta ve bu senaryo ve protokoller üzerinde nesne tabanlı yazılım geliştirmeye izin vermektedir. ns-2 benzetim işlemi süresince meydana gelen her olayı benzetim işlemi sonunda rapor eder. Elde edilen bu rapor ve karşılaştırma yapılacak diğer protokollerin rapor sonuçları karşılaştırılarak doğru ve gerçekçi bir analiz yapılabilir.

5.2.2. AODV yönlendirme protokolü

Benzetim işleminde Tasarsız Talep Üzerine Uzaklık Vektörü Kullanan Yönlendirme Protokolü (AODV - Ad Hoc On Demand Distance Vector) uygun yolu bulmak için isteğe bağlı olarak çalıştırılır. Benzetim işlemi sırasında bir düğüm başka bir düğümle iletişim kurmak istediğinde ortama yol kurma isteği gönderir. Bu isteğe cevabın geldiği ilk yol kullanılarak iletişim başlar. Bu yolların güncellik değerlerini belirlemek ve kullanmak için her yola bir sıra numarası verilir. En güncel yol sıra numarası en büyük olan yoldur. Paketlerin takip edeceği yol AODV’de kaynak düğümde belirlenmez. Bütün düğümler kendinden bir sonraki düğümün adresini tutarlar. İstek üzerine kullanılan bir yönlendirme protokolünde eğer ki kullanılan yol hedef düğüme götürmezse kaynak düğüm yeni bir yol talebinde bulunmak için ağa yol isteği mesajı gönderir. Yol istek mesajı’nda kullanılan parametreler şu şekilde sıralanabilir;

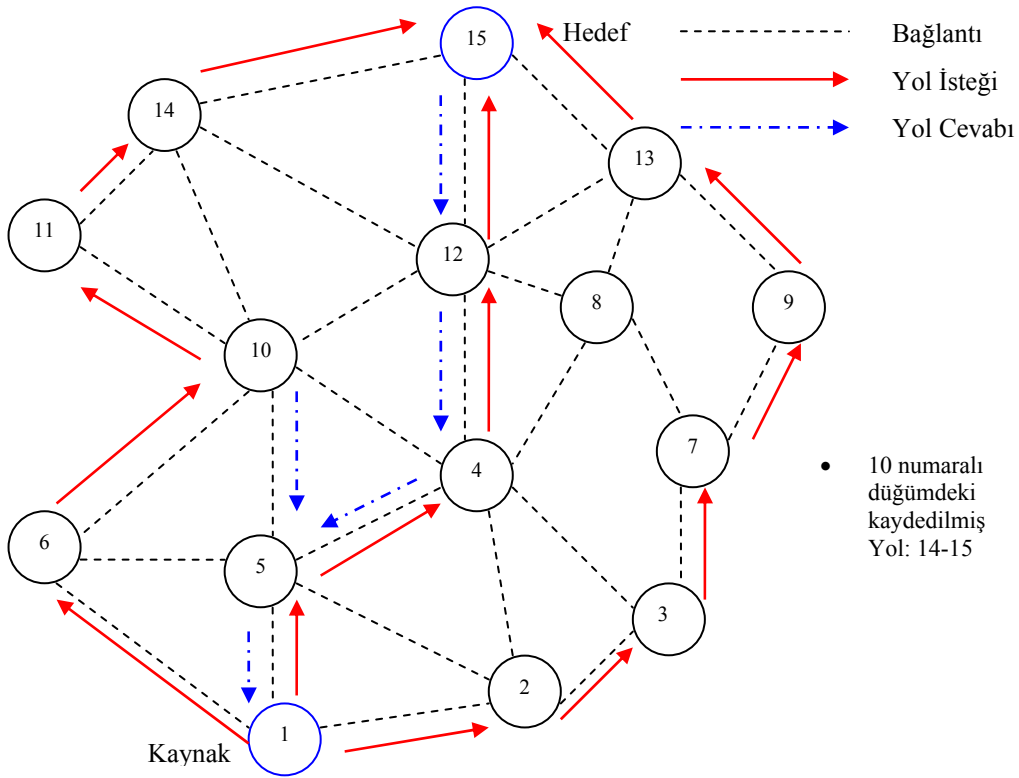
- Kaynak tanımlayıcı (Src ID)

- Hedef tanımlayıcı (Dest ID)
- Kaynak sıra numarası (SrcSeqNum)
- Hedef sıra numarası (DestSeqNum)
- Yayın tanımlayıcı (Bcast ID)
- Yaşam süresi (TTL)

DestSeqNum, kaynağın isteği üzerine belirlenen yolun güncelliğini göstermektedir. Arada bulunan bir düğüme yol istek mesajı geldiğinde, bu mesaj ya komşu düğümlere gönderilir yada hedef düğümün adresi kendisinde bulunuyorsa direk yol mesajı kaynak düğüme geri gönderilir. Ara düğümde bulunan yolun geçerliliği, ara düğümde elde edilen sıra numarası ve yol istek mesajı paketinde bulunan DestSeqNum alanının karşılaştırılması ile belirlenmektedir. Src ID ve Bcast ID alanları ise herhangi bir düğüme gelen yol istek mesajlarının birden fazla olması ve birbirleriyle aynı olması durumunda tekrar eden yol istek mesajlarının iptal edilme işlemini gerçekleştirmektedir.

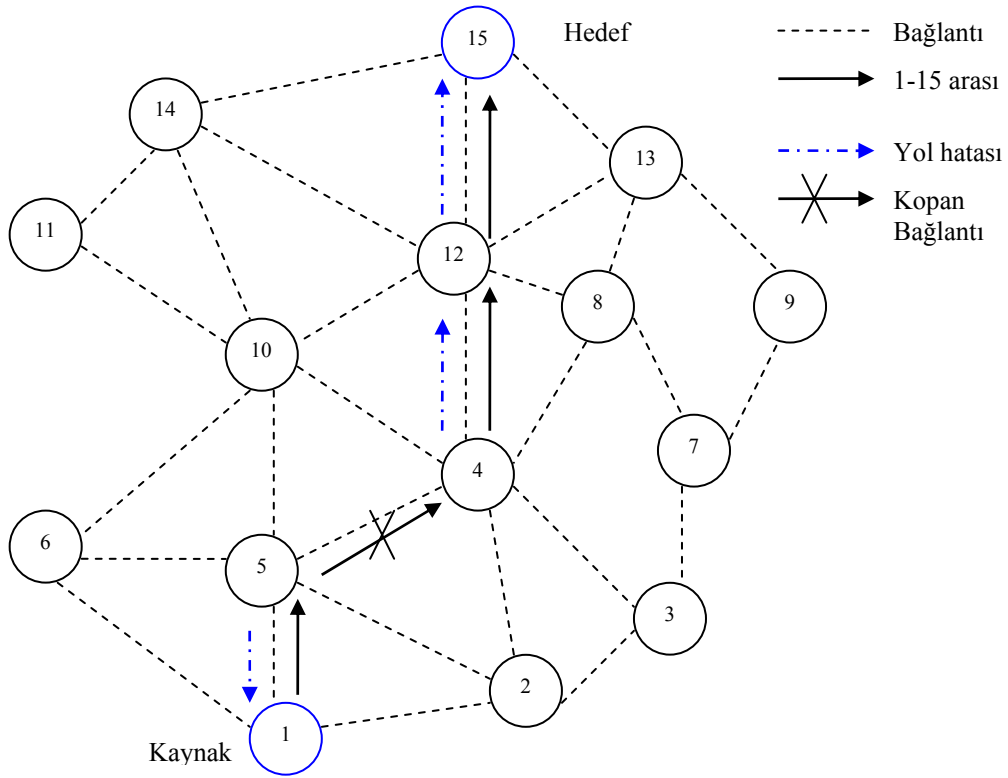
Ara düğümler kendilerine gelen yol istek mesajlarını, yol istek paketine önceki düğümün adresini ve kendi Bcast ID'sini girerek yönlendirme işlemini gerçekleştirirler. Bu işlemin yapılmasının nedeni ise bulunan ve aktif olan yol kaydedilir ve kaynak düğümün tekrardan yönlendirme yapma işlevi otomatik gerçekleştirilmiş olur. Yol cevap mesajı ara düğümlere ulaştığı zaman, hedefe ulaşmak için bu mesajı gönderen düğümü, bir sonraki atlama noktası olarak kaydederler. Şekil 5.1'de 1 numaralı düğüm kaynak düğüm olarak 15 numaralı hedef düğüm için bir yol istek mesajını tüm komşularına sel şeklinde gönderir. Burada yol istek mesajının DestSeqNum sayısının 3 olduğu ve SrcSeqNum sayısının da 1 olduğu kabul edilmektedir. Düğüm 2, düğüm 5 ve düğüm 6 yol istek mesajını aldıkları zaman hedefe ulaşmak için gerekli olan yolu bulabilmek için yolları kontrol ederler. Hedefe ulaştıracak bir yola sahip değillerse kendilerine gelen istek mesajını komşularına iletirler. Düğüm 3 ve düğüm 10'da hedefe ulaşmak için gerekli olan yolun daha önceden kaydedilmiş yol bilgilerinde bulunduğunu ve düğüm 3'ün DestSeqID sayısının 1, düğüm 10'un DestSeqID sayısının 4 olduğunu varsayalım.

Kaynaktan gönderilen DestSeqID değeri 3 olduğu için yalnızca düğüm 10'da bulunan yol kabul edilebilmektedir. Hedef düğüme başka bir düğüm üzerinden de ulaşılabilirsek, bu durumda hedef düğüm kaynak düğüme bütün yolların bulunduğu bir yol cevap mesajı yollar. Bu gönderilen yollar arasında en kısa olanı seçilmektedir. Sonsuz yol atlama sayısı olursa ve kaynak düğümün hedef düğüme ulaşması imkânsız ise geriye bir hata mesajı gönderilir. Bu hata mesajını alan düğümler bu yol ile ilgili tuttıkları kayıtları silerler. Kaynak düğüm, hedefe ulaşabilmek için gerekli olan yolu bulabilmek için yeni yol istek mesajını ortama gönderir.



Şekil 5.1. AODV’de yol kurma

Şekil5.1’de ki 4 ile düğüm 5 arasında bulunan bağlantı koptuğunda kaynak ve hedef düğümleri bu yeni durum hakkında bilgilendirmek amacıyla düğüm 4 ve düğüm 5 tarafından yol hata mesajı oluşturulur ve ilgili düğümlere gönderilir. Kaynak düğüm yeni bir BcastID ve önceki DestSeqID ile yol bulma işlemini yeniden başlatır. Şekil 5.2’de düğüm 4 ile düğüm 5 arasındaki bağlantı kopması gösterilmiştir.



Şekil 5.2. AODV’de yol hatası

5.2.3. Benzetim metodolojisi

Düğüm sayısı, paket boyutu gibi birçok nesne bu kısımda belirlenmektedir. Eklenecek yeni düğümler, paket boyutlarında yapılacak değişiklikler gibi kullanılacak birçok nesnenin değerleri değiştirilerek yeni senaryolar elde edilebilmekte ve elde edilen test sonuçları ile daha kapsamlı bir analiz yapılabilmektedir.

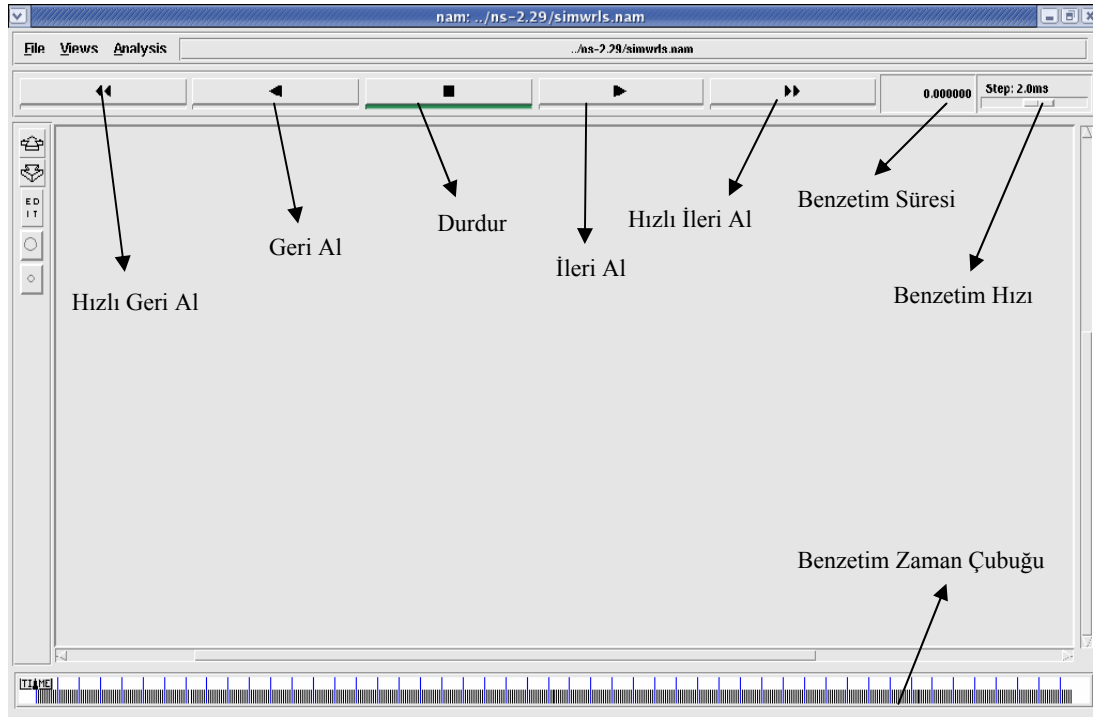
5.2.4 Performans ölçütleri

Daha fazla yönlendirme taşıması olursa, hedeflerine ulaşmakta olan veri paketlerinin sahip olacağı gecikme miktarı tıkanıklık, çarpışma ve kuyruk gecikmesi olacağından artacaktır. Ama yönlendirme taşıması azaltılırsa doğal olarak daha iyi paket dağıtım sürelerine ulaşılabilmektedir.

Ortalama gecikme bir veri paketinin kaynak düğümden gönderilip hedef düğüme 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.

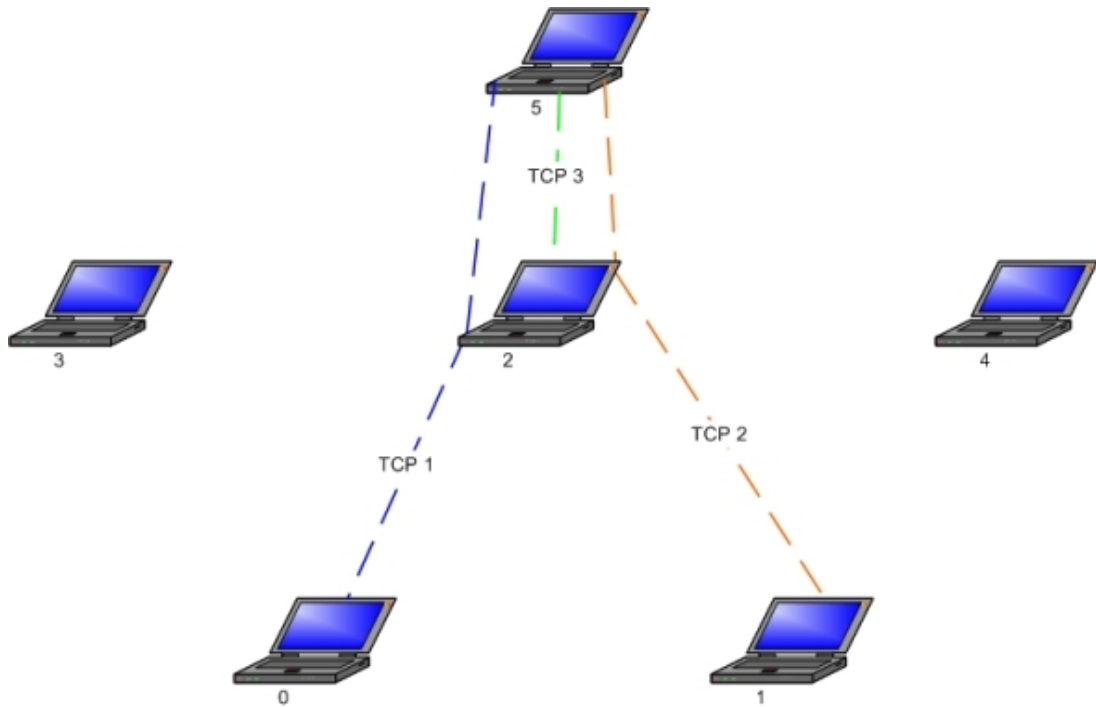
5.2.5. Gerçekleştirilen benzetim

ns-2 ile gerçekleştirilen benzetimler sonucunda meydana gelen ağ yapısını ve trafiği incelemek için uzantısı “nam” olan bir dosyası üretilir. Bu dosya benzetimde belirtilen zaman aralıklarında benzetimde gerçekleşen olayların kayıtlarını tutar. Örnek; iletilen paketlerin, atılan paketlerin hangi sürelerini, hangi sürelerde bağlantı kopmalarının oluştuğunu, düğümlerin hangi hızda, nerden nereye hareket ettiği gibi bilgiler bu dosyada yer alır. Bu dosyaları Network Animator (nam) okur ve görsel bir çıktı olarak bize verir. Programın ekran görüntüsü ve düğmelerin ne işe yaradıkları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.3. nam programının ekran görüntüsü

Geliştirilen protokolü test etmek amacı ile oluşturulan senaryoda birbirleri ile eşdeğer bilgisayarların kablosuz haberleştikleri varsayılmıştır. Senaryoda bilgisayardan düğüm olarak bahsedilmektedir. Benzetim ortamına aktarılan senaryoda altı adet eş değer düğüm kullanılmış ve iki düğüm kaynak , bir düğüm hedef ve diğer üç düğümde yönlendirici rolünü üstlenmiştir. Senaryonun temsili görünüşü Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Senaryonun temsili görünümü

Şekil 5.4’te oluşturulan senaryonun temsili görünümü görülmektedir. Senaryonun ilk halinde 0 ve 1 numaralı düğümler 5 numaralı düğüme paket göndermektedir ve 2 numaralı düğüm yönlendirici görevini görmektedir.

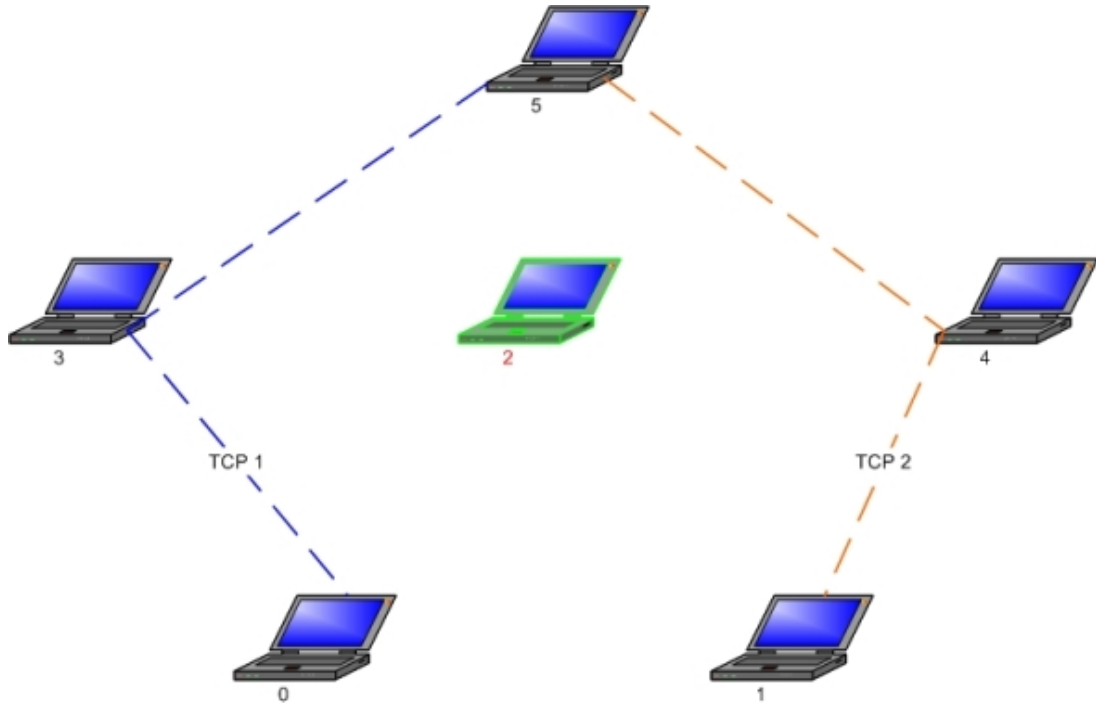
set val(chan)	Channel/WirelessChannel	;	# Kanal tipi
set val(prop)	Propagation/TwoRayGround	;	# Radyo yayılım mod.
set val(netif)	Phy/WirelessPhy	;	# Ağ arayüz tipi
set val(mac)	Mac/802_11	;	# MAC tipi
set val(ifq)	Queue/DropTail	;	# Arayüz kuyruk tipi
set val(ll)	LL	;	# Veri bağı katmanı

```

set val(ant)    Antenna/OmniAntenna      ;# Anten modeli
set val(ifqlen) 50                        ;# max packet in ifq
set val(nn)     6                         ;# hareketli düğüm sayısı
set val(rp)     AODV                      ;# yönlendirme protokolü
set val(x)      700                       ;# Benzetim alanının X eksenı
set val(y)      700                       ;# Benzetim alanının Y eksenı
set val(stop)   100                       ;# Benzetimin bitiş zamanı
set val(energymodel) EnergyModel          ;# Enerji modeli
set val(radiomodel) RadioModel            ;# Radyo modeli
set val(initialenergy) 140                ;# Düğüm enerjisi

```

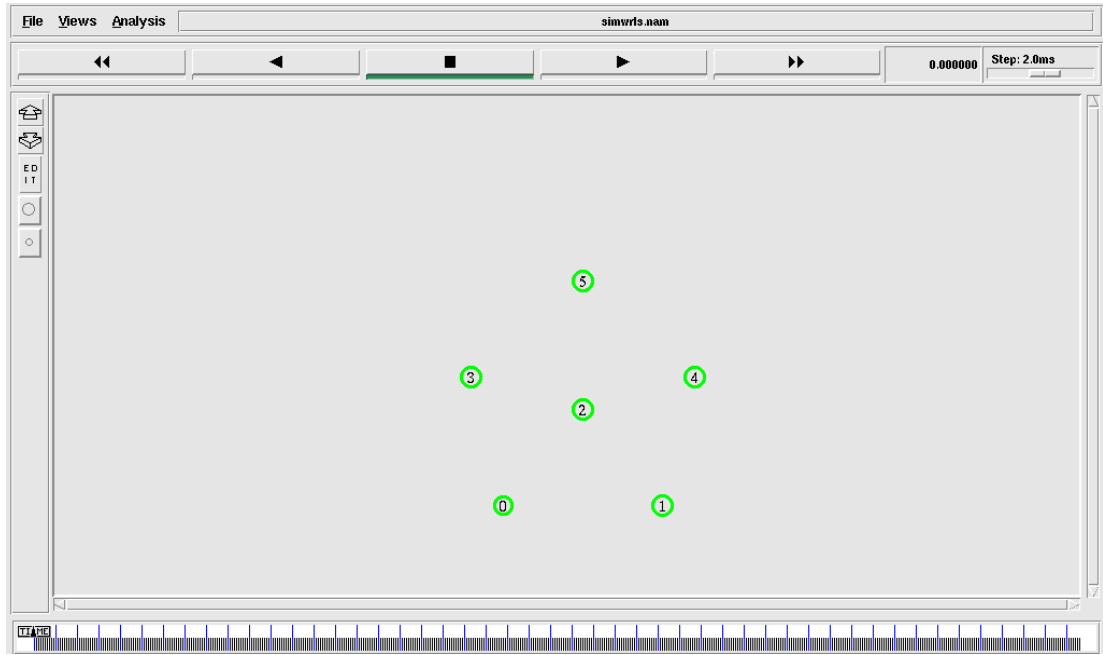
Oluşturulan senaryoya göre eş değeri düğümler birbirine paket göndermekte ve bütün düğümlerin enerji seviyeleri sınırlıdır. Senaryonun ikinci hali Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Senaryonun ikinci durumu temsili görünümü

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi senaryonun ikinci halinde 2 numaralı düğümün enerjisi tükendiğinden yol kopmuş ve 0 numaralı düğüm 3 numaralı düğümün yönlendiriciliğinde, 1 numaralı düğüm 4 numaralı düğümün yönlendiriciliğinde paket göndermeye devam etmektedir.

Benzetimin başlangıç ekran görüntüsü Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Benzetimde kullanılan topoloji

Şekil 5.6'da benzetimde kullanılan topolojinin ekran görüntüsü verilmiştir. Topoloji birbirine eşdeğer 6 adet düğümden oluşmaktadır. ns-2 benzetim aracında kablosuz düğümler gösterilirken siyah renkte gösterilmektedir ancak benzetimde enerji faktörü kullanılırsa düğümler başlangıçta yeşil renkle gösterilir.

Benzetimdeki düğümlerin topolojide nerede bulunacakları, benzetim aracına bildirilmelidir. Eğer enerji faktörü kullanılacaksa, yani düğümlerin enerji seviyeleri sınırlı olacaksa bu belirtilmelidir. Enerji seviyelerinin değerleri ve yapılacak işleme göre hangi miktarda düşeceği belirtilmelidir. Bu işlemler için benzetim aracında tanımlanan değerler mevcuttur. Bu değerleri biz atayabilir ve enerji seviyesine göre

düğümün hareketlerine karar verebilir. Normalde düğümlerin renkleri siyah ile görüntülenmektedir fakat enerji faktörünü kullanıldığından düğümler yeşil renkle görüntülenmektedir. Şekil 5.6'daki topolojiyi oluşturan OTCL kodu aşağıdaki gibidir.

```
$node_(0) set X_ 250.0
$node_(0) set Y_ 100.0
$node_(0) set Z_ 0.0
$node_(1) set X_ 500.0
$node_(1) set Y_ 100.0
$node_(1) set Z_ 0.0
$node_(2) set X_ 375.0
$node_(2) set Y_ 250.0
$node_(2) set Z_ 0.0
$node_(3) set X_ 200.0
$node_(3) set Y_ 300.0
$node_(3) set Z_ 0.0
$node_(4) set X_ 550.0
$node_(4) set Y_ 300.0
$node_(4) set Z_ 0.0
$node_(5) set X_ 375.0
$node_(5) set Y_ 450.0
$node_(5) set Z_ 0.0
```

Topolojideki her düğümü konfigüre eden ns-2 kodu aşağıda verilmiştir.

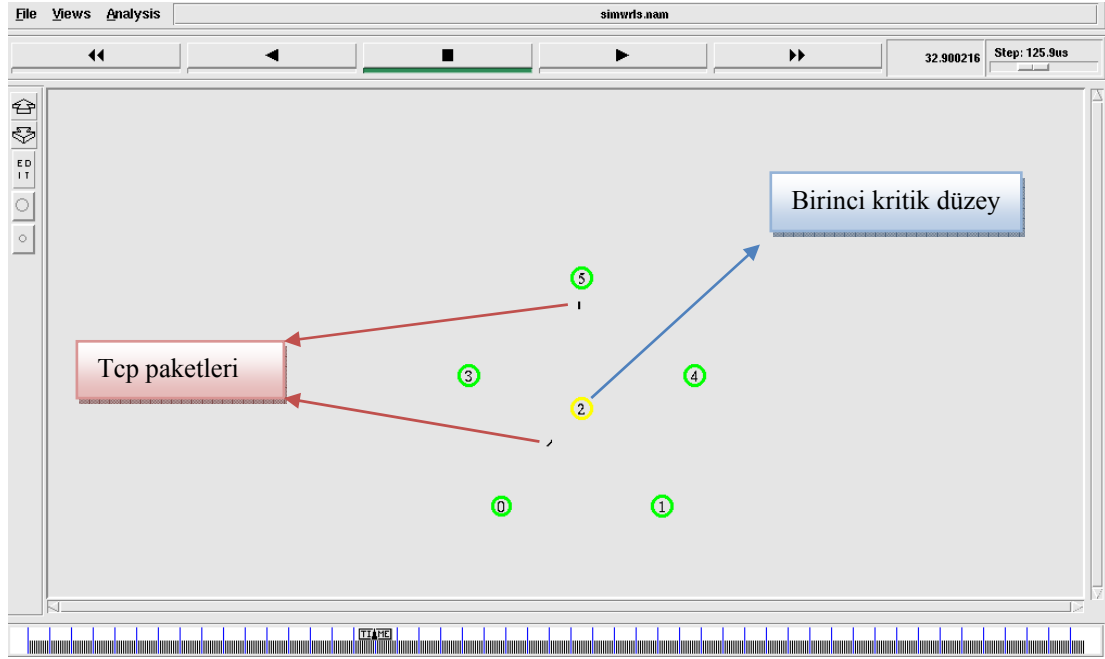
```
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
-llType $val(ll) \
-macType $val(mac) \
-ifqType $val(ifq) \
-ifqLen $val(ifqlen) \
-antType $val(ant) \
```

```

-propType $val(prop) \
-phyType $val(netif) \
-channelType $val(chan) \
-topoInstance $topo \
-agentTrace ON \
-routerTrace ON \
-macTrace OFF \
-movementTrace ON \
-energyModel $val(energymodel) \
-idlePower 0.1 \
-rxPower 1.0 \
-txPower 5.0 \
-transitionPower 1.0 \
-transitionTime 0.005 \
-initialEnergy $val(initialenergy)

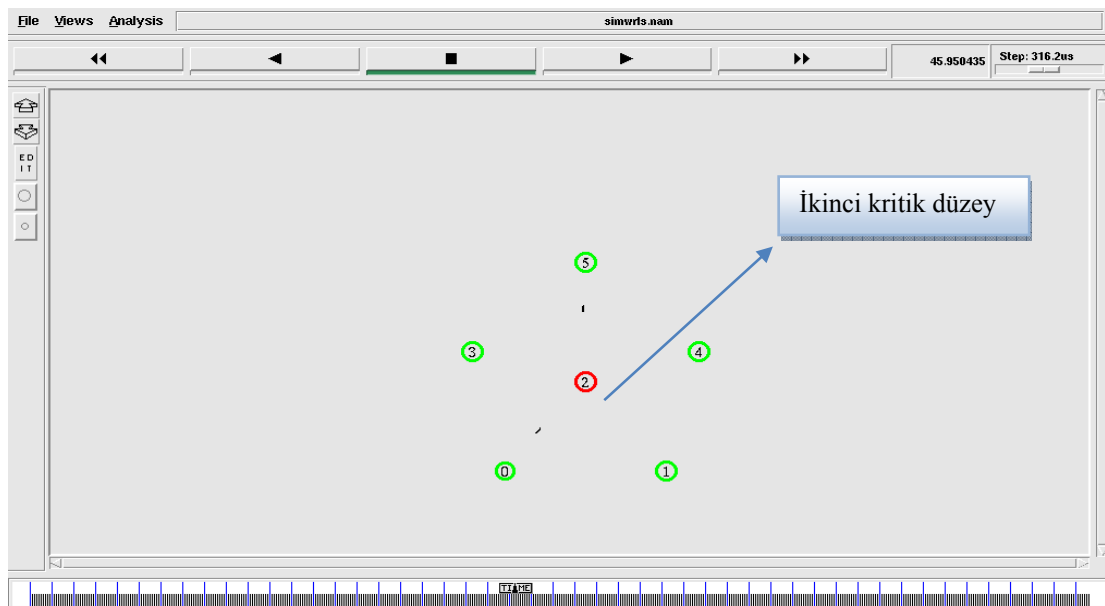
```

Düğümün ilk konumları belirlendikten sonra benzetim başlamıştır. 5. ve 18. saniyeler arasında; 2. ve 5. düğümler arasında TCP üzerinden FTP bağlantısı kurulmuştur. Amaç benzetim için uygun şartın oluşmasıdır. 2. düğümün enerjisi düşürülerek elde edilmek istenen sonuca uygun ortam hazırlanmıştır. 2. düğümün enerji seviyesi uygun hale geldikten sonra, 20. ve 90. saniyeler arasında 0 - 5 ve 1 - 5 düğümleri arasında TCP üzerinden FTP bağlantısı oluşturulmuştur. Bu bağlantılar sonucunda 2 numaralı düğüm yönlendirici görevi yapmaya başlamıştır. Bir süre sonra 2 numaralı düğümün enerjisi birinci kritik seviyeye inmiştir. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerji düzeyi birinci kritik düzeye inmiştir.



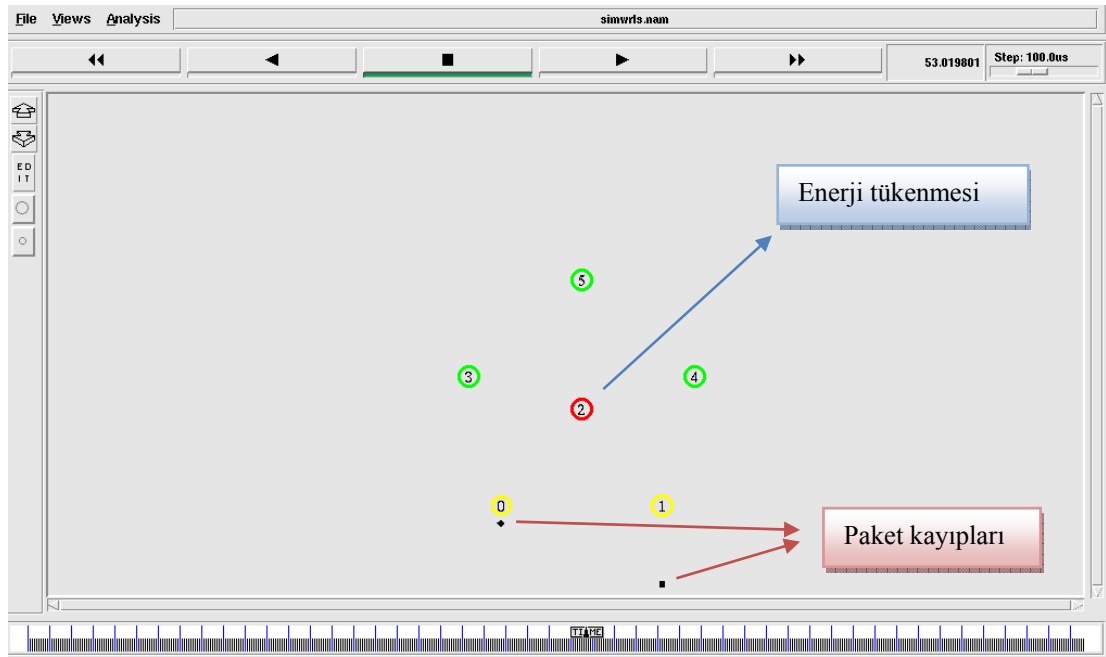
Şekil 5.7. 2 numaralı düğümün enerjisinin birinci kritik düzeye düşmesi

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerjisi birinci kritik seviyeye düşmüştür. Paket trafiğinin bu düğüm üzerinden devam etmesi yüzünden düğümün enerji seviyesi düşmeye devam edecektir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerji seviyesi ikinci kritik seviyeye düşmüştür.



Şekil 5.8. 2 numaralı düğümün enerjisinin ikinci kritik düzeye düşmesi

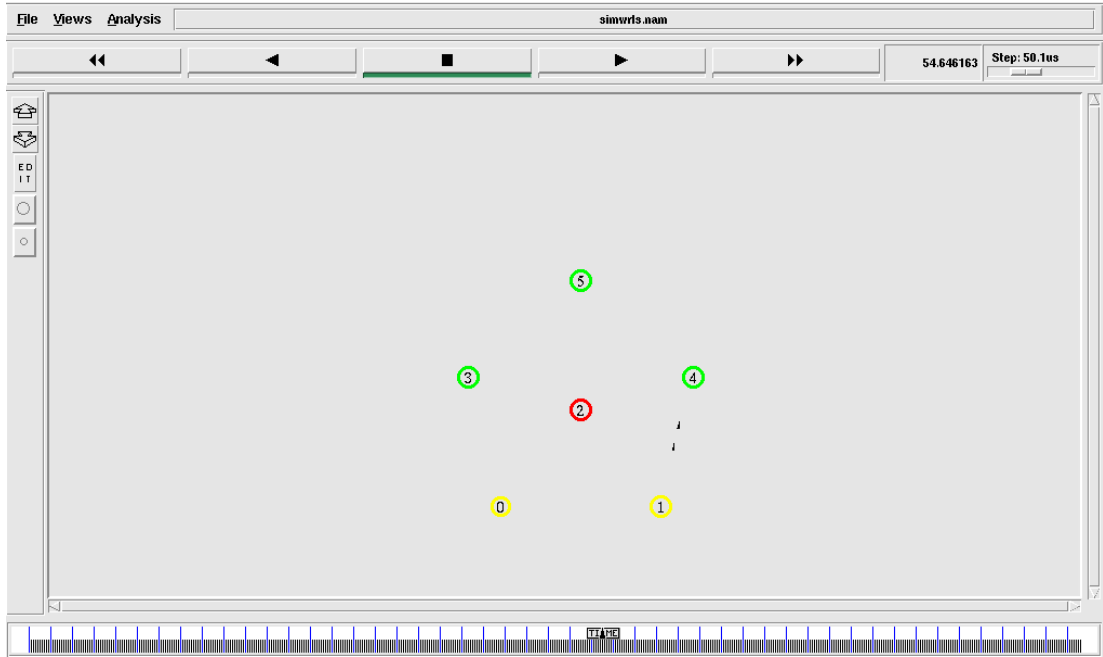
Şekil 5.8’de görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerji seviyesi kritik seviyeye inmiştir ve paket trafiği bu düğüm üzerinden akmaya devam etmektedir. Trafiğin bu düğüm üzerinden akması bir süre sonra düğümün enerjisinin tamamen tükenmesine ve paket kayıplarının yaşanmasına neden olacaktır. Şekil 5.9’da 2 numaralı düğümün enerjisinin tamamen tükendiği ve paket kayıplarının yaşandığı görülmektedir.



Şekil 5.9. 2 numaralı düğümün enerjisinin tükenmesi ve paket kayıpları

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerjisi tamamen tükenmiş ve yolun kopmasından dolayı 0 ve 1 numaralı kaynak düğümlerin gönderdiği paketler kaybolmuştur. AODV’de enerji düzeyine göre bir yönlendirme ölçütü kullanılmadığından yol kaybolmuş ve paket kayıpları yaşanmıştır.

Yolun kopmasından dolayı 0 ve 1 numaralı düğümler yeni yol aramış ve paket trafiğini başka yola aktarmıştır. Şekil 5.10’da yeni yol durumu görülmektedir.

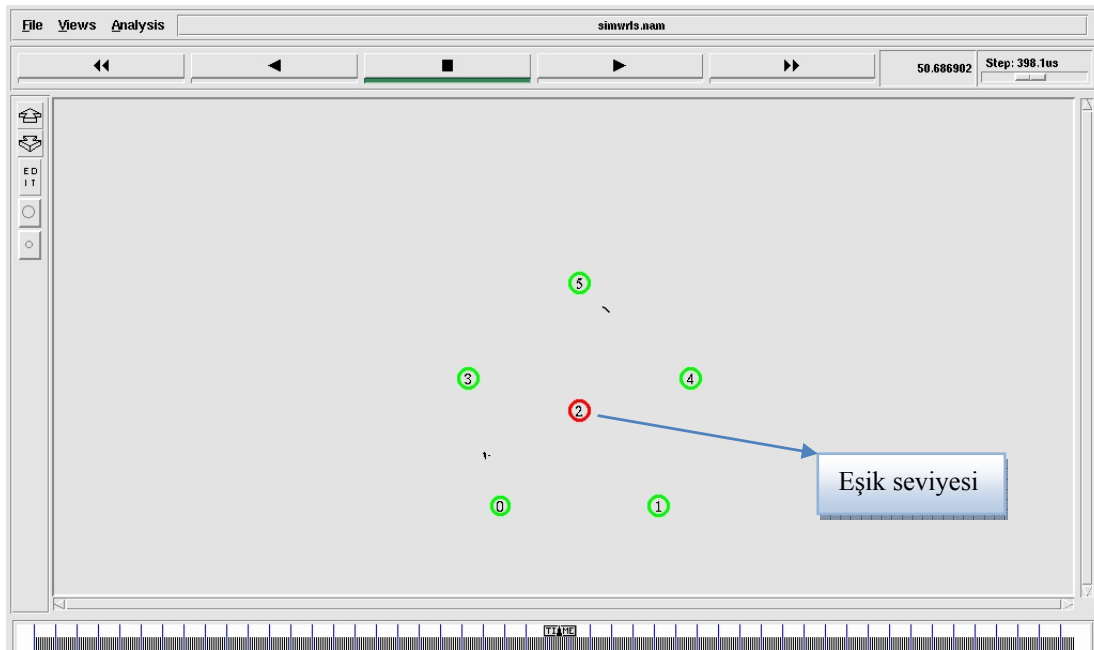


Şekil 5.10. Yeni yol durumu

Şekil 5.10 'da görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerjisi tükendikten sonra 0 numaralı düğüm 3 numaralı düğümün yönlendiriciliğinde, 1 numaralı düğüm 4 numaralı düğümün yönlendiriciliğinde paket aktarımına devam etmişlerdir.

AODV'de yaşanan bu enerji ve aradaki paket kaybı problemine yönelik olarak geliştirilen protokolde kullanılan topoloji Şekil 5.6'da gösterilen topolojidir. Düğümlerin ilk konumları belirlendikten sonra benzetim başlamıştır. 5. ve 18. saniyeler arasında; 2. ve 5. düğümler arasında TCP üzerinden FTP bağlantısı kurulmuştur. Amaç benzetim için uygun şartın oluşmasıdır. 2. düğümün enerjisi düşürülerek elde edilmek istenen sonuca uygun ortam hazırlanmıştır. 2. düğümün enerji seviyesi uygun hale geldikten sonra, 20. ve 90. saniyeler arasında 0 - 5 ve 1 - 5 düğümleri arasında TCP üzerinden FTP bağlantısı oluşturulmuştur. AODV'de olduğu gibi 2 numaralı düğüm yönlendirici görevi yapmıştır. Bu sebeple yine önce Şekil 5.7'de gösterildiği gibi 2 numaralı düğüm birinci kritik düzeye inecektir. Bu safhada AODV'de olduğu gibi paket aktarımı devam edecektir. Paket akışı devam ettiğinden bir süre sonra 2 numaralı düğümün enerji seviyesi ikinci kritik seviyeye inecektir. Şekil 5.8'de 2 numaralı düğümün enerjisinin ikinci kritik düzeye düşmesi

gösterilmiştir. İkinci kritik seviyeye düşme olayı gerçekleştikten sonra da paket aktarımı devam eder, enerji seviyesi 20 Joule'e düştükten sonra iki numaralı düğüm paket transferini keser ve kendisine paket gönderen düğümlere yönlendirmeyi keseceğini bildirir. Paket yönlendirmesinin kesileceği konusunda uyarılan düğümler paket göndermeyi keser ve yeni yol ararlar. Bu sayede paket kaybı yaşanması ihtimalide azalmış olur. Yönlendirme işlemi başka yoldan devam edeceği için iki numaralı düğüm ağdan kopmamış olur. İki numaralı düğümün yönlendirmeyi kestikten sonraki durum Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

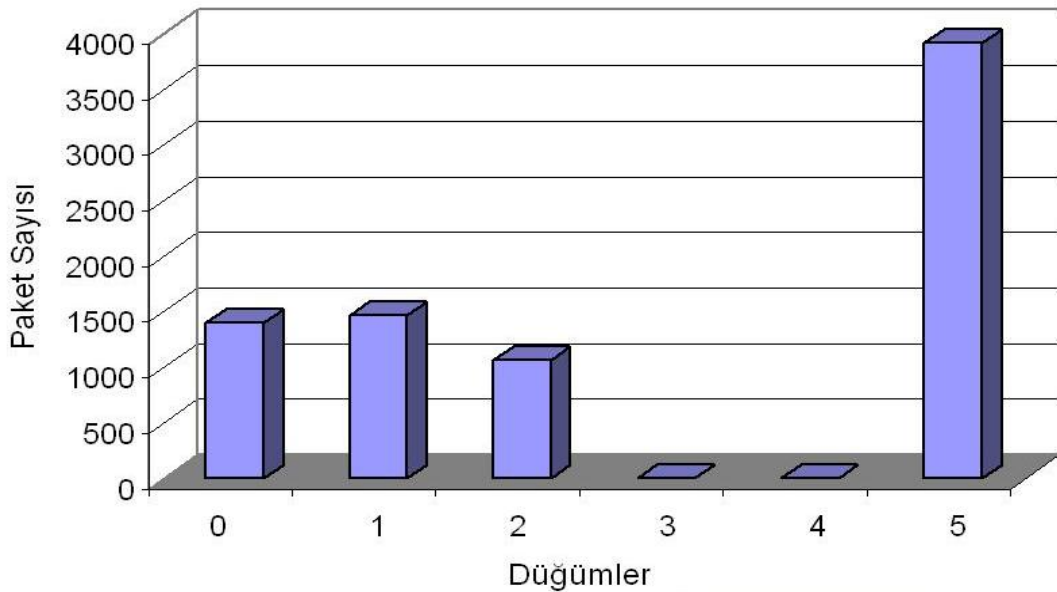


Şekil 5.11. Geliştirilen protokolde enerji seviyesine göre yeni yol kurulması

Şekil 5.11'de, iki numaralı düğümün enerji seviyesinin 20 Joule değerinin altına düşmesinden dolayı paket trafiğinin başka yönlendiricilere devredilmesi gösterilmektedir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

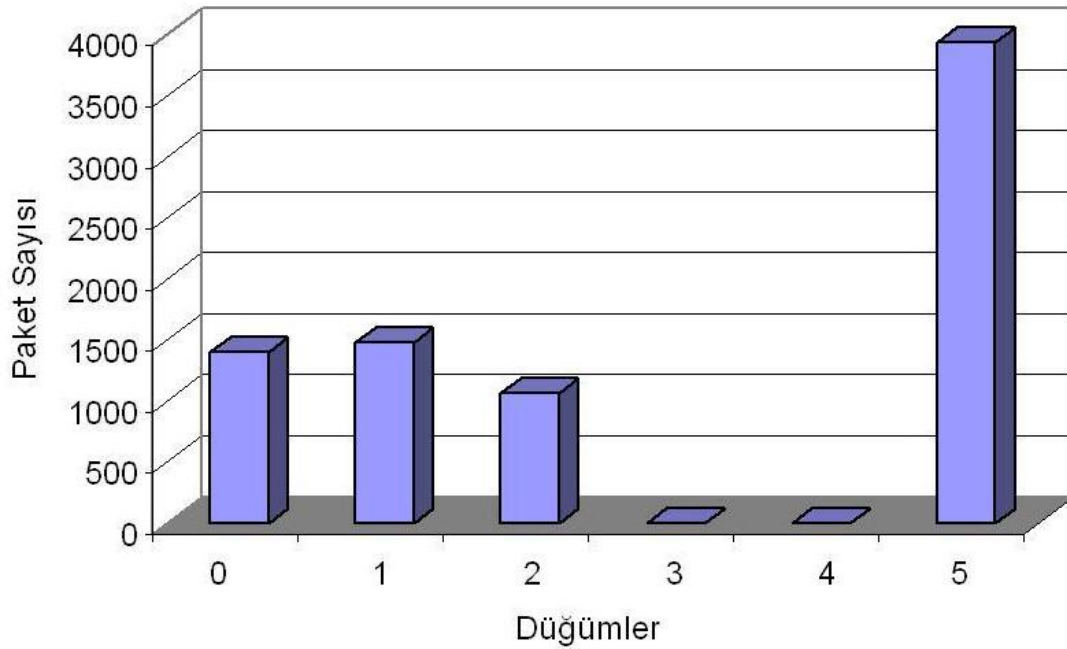
Geliştirilen protokol AODV protokolü ile karşılaştırılarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bu karşılaştırma yapılırken iki kriter göz önünde bulundurulmuştur. Birinci kriter enerji seviyelerinin düşmesine bağlı olarak düğümlerin ağdan düşüp düşmemesidir. Ad hoc ağlarda düğümler hareketli ve enerji seviyeleri sınırlıdır. Ayrıca ad-hoc ağlar bir alt yapıya sahip olmadığından yönlendirme işlemi de ağ üzerinde etkin olan düğümler tarafından yapılır. Yani düğümler ağ üzerinde hem paket üretir, hem paket alır, hem de paket yönlendirirler. Yönlendirici düğümün enerjisinin tükenmesi o düğümün ağdan düşmesinin yanında paket kaybının yaşanmasına neden olur. Eğer düğüm ağdan düştüğünde bu düğüm üzerinden paket gönderen düğümler yeni yol bulamazsa ağ bölünmüş olur. Karşılaştırmadaki ikinci kriter ise paket kayıplarıdır. Bir düğüm enerji seviyesinin tükenmesinden dolayı aniden ağdan düşerse kaynak düğümlerden gönderilen paketler kaybolur. Bu paket kayıplarının yaşanmaması için yolun kesileceğinin önceden kaynak düğümlere bildirilmesi bu paket kayıplarının yaşanmasını engelleyecektir.



Şekil 6.1. AODV’de üretilen paket sayısı grafiği

AODV protokolü ile gerçekleştirilen benzetim sonucu elde edilen üretilen paket sayıları grafiği Şekil 6.1’de görülmektedir.

Şekil 6.1’de AODV protokolü kullanarak her düğüm tarafından üretilen paket sayısı görülmektedir. Üretilen her paket düğümlerin enerji seviyelerinin düşmesi anlamına geldiğinden üretilen paket sayısı önemlidir. Şekil 6.2’de geliştirilen protokol tarafından üretilen paket sayıları gösterilmiştir.



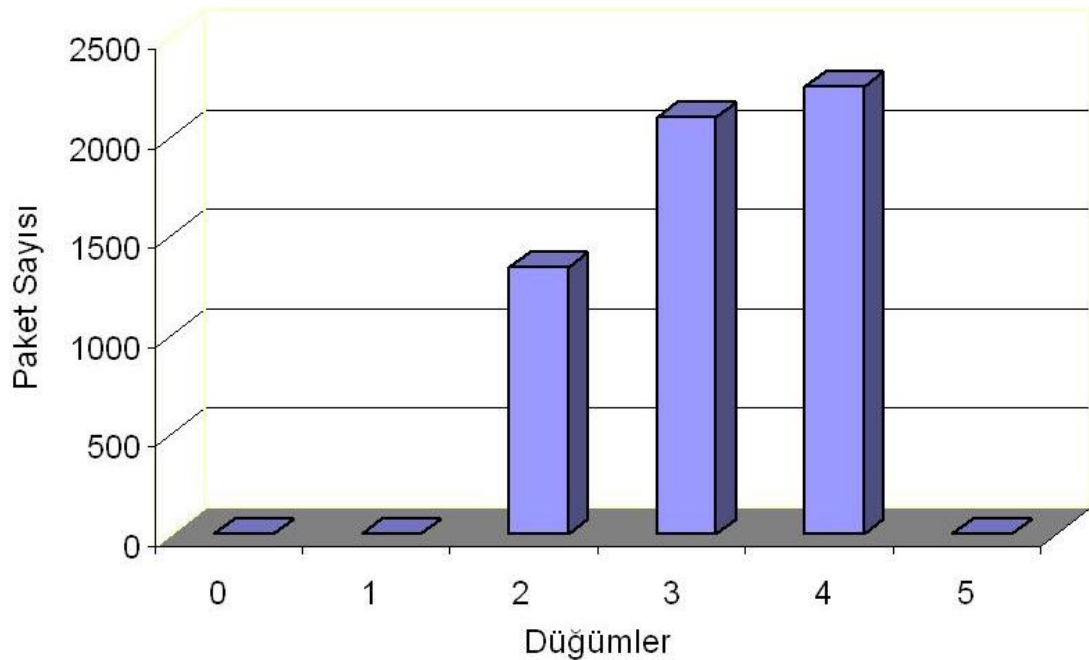
Şekil 6.2. Geliştirilen protokol tarafından üretilen paket sayısı grafiği

Şekil 6.2’de geliştirilen enerji etkin protokolü kullanarak düğümler tarafından üretilen paket sayıları grafiği görülmektedir. Şekil 6.1’de ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi iki protokolde de düğümlerin ürettiği paket sayıları birbirine çok yakındır.

Şekil 6.1’de ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi düğümler tarafından üretilen paket sayıları hemen hemen aynıdır. AODV’de 0. düğüm 1402, 1. düğüm 1463, 2. düğüm 1068, 5. düğüm 3915 paket üretmişlerdir. Geliştirilen protokolde ise 0. düğüm 1399, 1. düğüm 1478, 2. düğüm 1068, 5. düğüm 3940 paket üretmişlerdir. Görüldüğü gibi en fazla paket 5. düğüm tarafından üretilmiştir, 5 numaralı düğüm hedef düğüm

olduğundan bütün paketler bu düğüme gönderilmiştir ve üretilen paketlerin tamamı ACK(Acknowledgement) paketleridir. 2 numaralı düğüm oluşturulan topolojinin 5. ve 18. saniyeleri arasında 5 numaralı düğüme paket göndermiştir. 20. saniyeden itibaren yönlendirici görevi yapmıştır. 3 ve 4 numaralı düğümler 20. saniyeden 90. saniyeye kadar yönlendirici görevi yapmışlardır, bu yüzden hiç paket üretmemişlerdir. Gönderilen paket sayısı geliştirilen protokolde daha fazladır. Benzetim süresi iki protokol içinde aynıdır, geliştirilen protokolde daha fazla paket gönderilmesi protokolün daha verimli çalıştığını gösterir. Geliştirilen protokolde üretilen paket sayısının fazla olmasının asıl sebebi 5. düğüm tarafından üretilen ACK paketlerinin daha fazla olmasıdır, bu da paket kaybının daha az olduğunu gösterir.

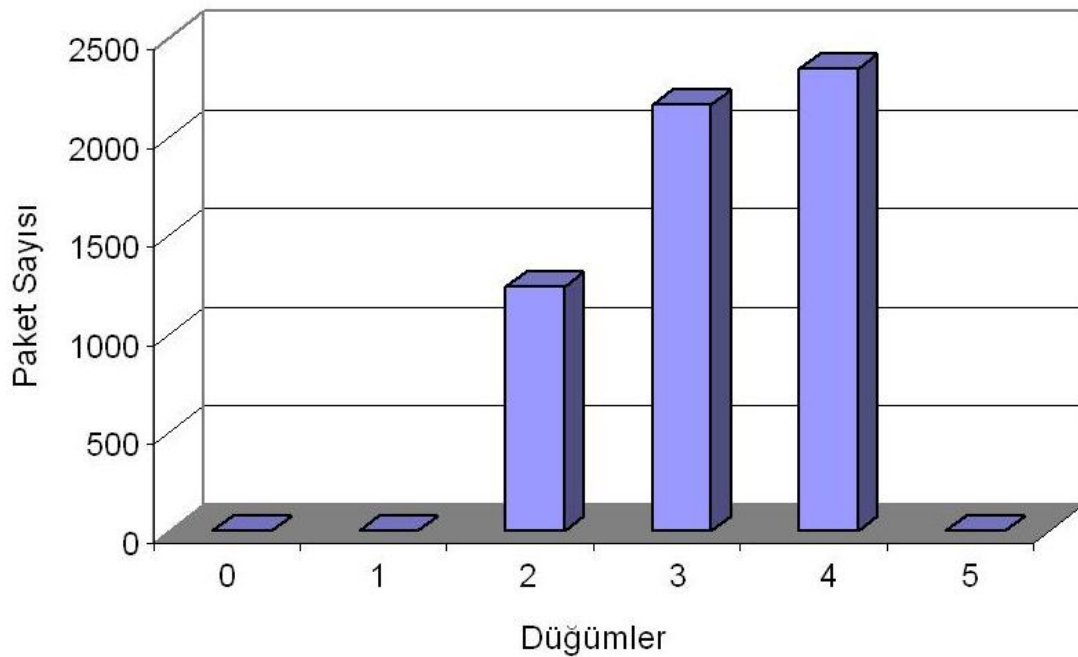
Düğüm tarafından yönlendirilen paket sayıları arasındaki fark protokollerin paket transferi için farklı ölçütler kullandığını gösterir. Şekil 6.3'te AODV'de düğümler tarafından yönlendirilen paket sayılarının grafiği görülmektedir.



Şekil 6.3. AODV'de yönlendirilen paket sayısı

Şekil 6.3'te AODV protokolünde düğümlerin yönlendirdiği paket sayıları görülmektedir. 2 numaralı düğüm benzetimin başında kaynak düğüm olmasına

rağmen 20. saniyeden itibaren 0 ve 1 numaralı düğümün 5 numaralı düğüme gönderdiği paketlere yönlendirici görevi yapmıştır. 2 numaralı düğüm toplam 1342 paket yönlendirmiştir. 2 numaralı düğüm enerjisi bitene kadar yönlendiricilik işlemine devam etmiştir. 2 numaralı düğümün enerjisi bittikten sonra 0 numaralı düğümün gönderdiği paketleri 3 numaralı düğüm, 1 numaralı düğümün gönderdiği paketleri de 4 numaralı düğüm yönlendirmiştir. 3 numaralı düğüm 2099, 4 numaralı düğüm 2255 paket yönlendirmiştir. Geliştirilen protokolde düğümlerin yönlendirdiği paket sayıları farklılık göstermiştir, çünkü 2 numaralı düğüm daha kısa süre, 3 ve 4 numaralı düğümler daha uzun süre yönlendiricilik yapmışlardır. Geliştirilen protokolde düğümlerin yönlendirdikleri paket sayıları Şekil 6.4’de görülmektedir.

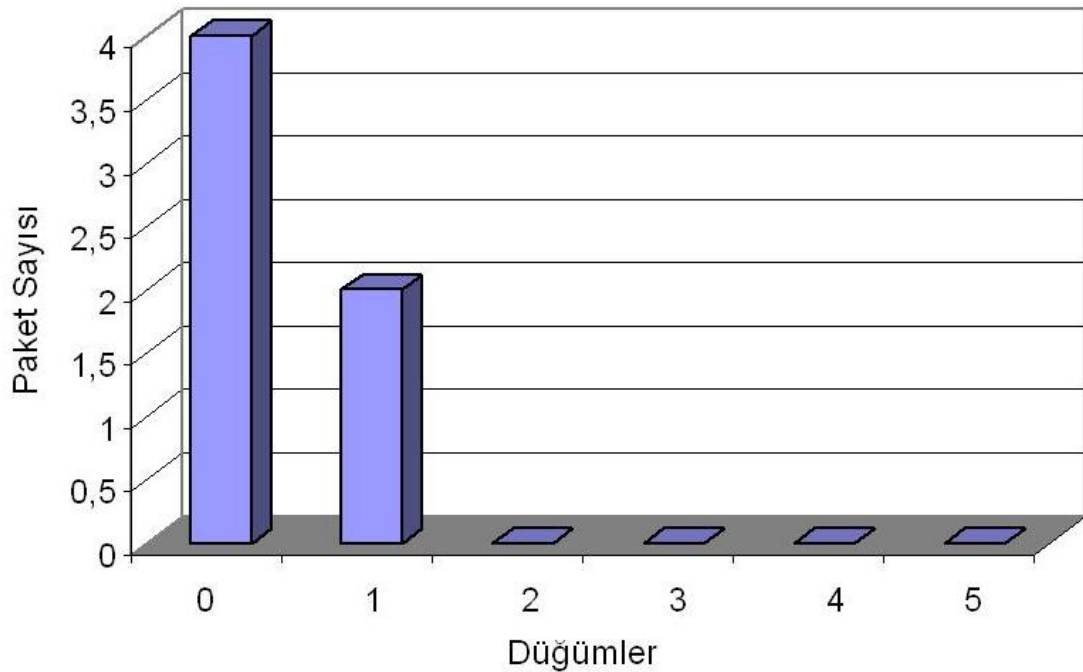


Şekil 6.4. Geliştirilen protokolde yönlendirilen paket sayısı

Şekil 6.4’de geliştirilen protokolde düğümler tarafından üretilen paket sayıları grafiği görülmektedir. 2 numaralı düğüm yine benzetimin başında kaynak düğüm olarak 5 numaralı düğüme paket göndermiştir, 20. saniyeden itibaren 0 ve 1 numaralı düğümlerin 5 numaralı düğüme gönderdiği paketlere yönlendirici görevi yapmıştır. 2 numaralı düğüm 1240, 3 numaralı düğüm 2161, 4 numaralı düğüm 2343 paket yönlendirmiştir. Geliştirilen protokolde düğümün enerji seviyesi bitmeden

yönlendirme kesildiği için 2 numaralı düğüm AODV ye göre daha kısa süre yönlendirme yapmıştır. 2 numaralı düğüm yönlendirmeyi daha çabuk kestiğinden, 3 ve 4 numaralı düğümler daha uzun süre yönlendirme işlemi yapmışlardır. Böylece yönlendirmeden kaynaklanan iş dağılımı daha adaletli ve enerji bakımından daha etkin olmuştur.

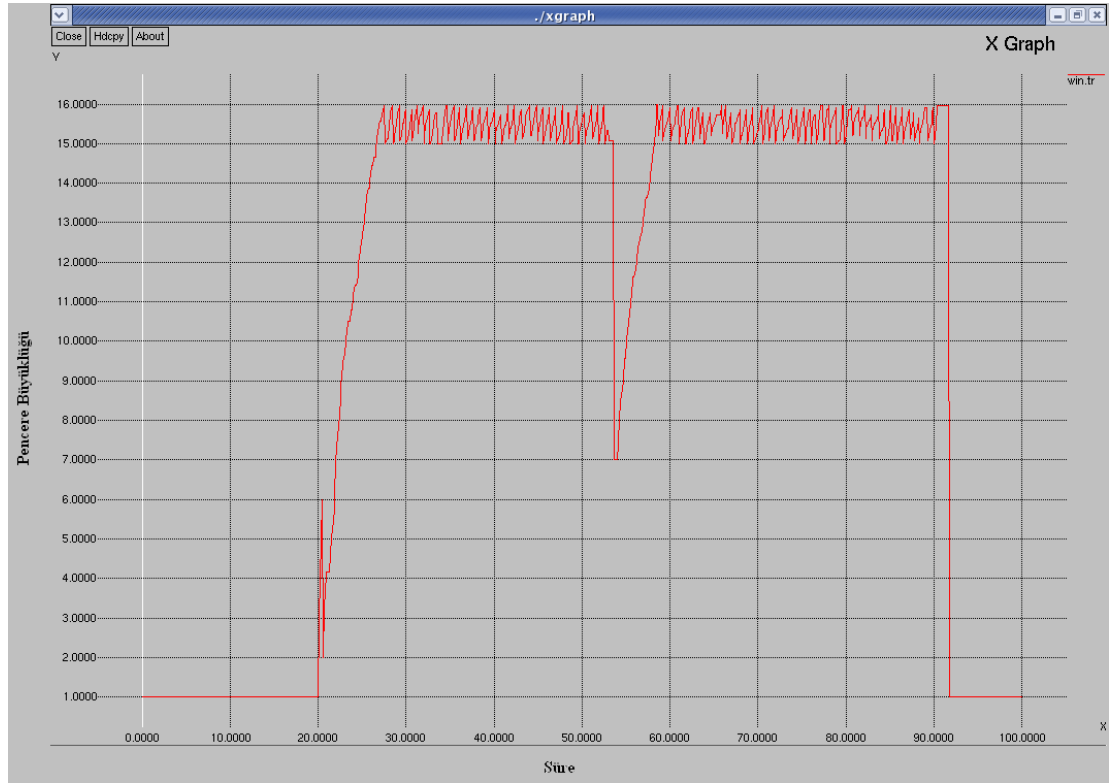
Yönlendirme işleminde enerji bakımından daha etkin bir ölçüt kullanırken, paket kayıplarının durumu da önemlidir. Enerjiyi etkin hale getirirken paket kayıplarının artması doğru bir sonuç değildir. Esas amaç paketlerin yerine gönderilmesi ve bu esnada enerjiyi etkin kullanmaktır. Şekil 6.5’de AODV protokolünde yaşanan paket kayıplarının grafiği görülmektedir.



Şekil 6.5. AODV’de atılan paket sayısı

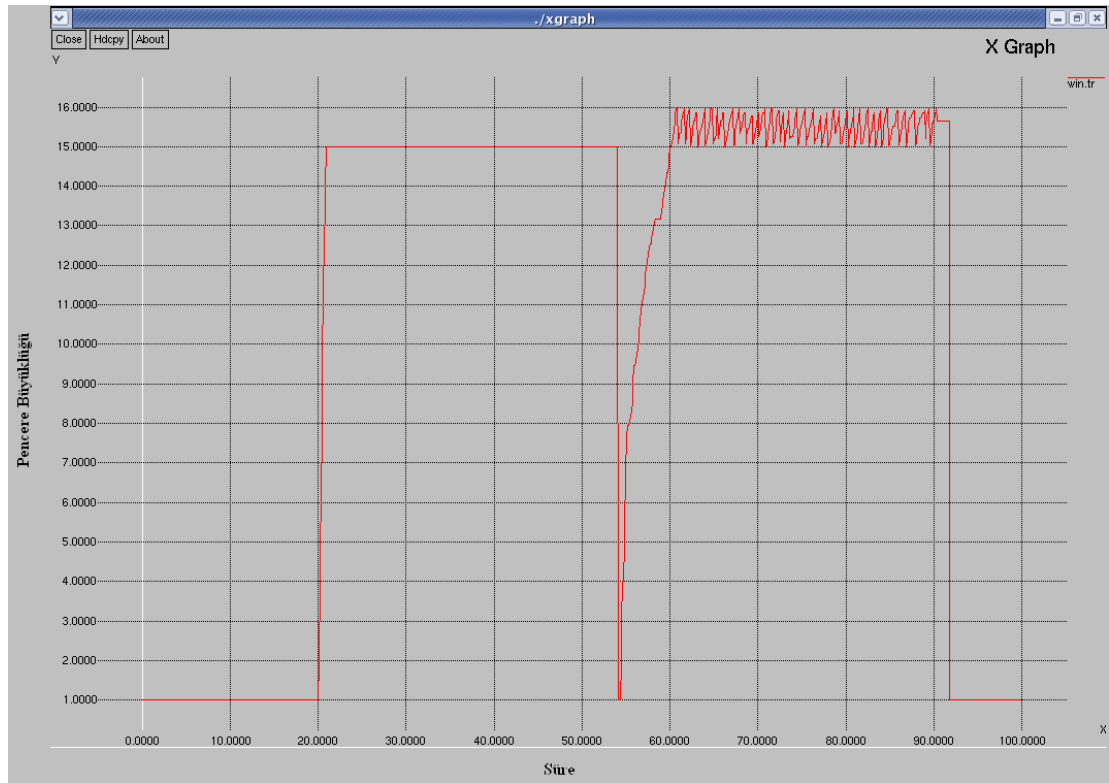
Şekil 6.5’de AODV protokolünde düğümler tarafından atılan paket sayıları görülmektedir. Bu paket atılmalarının sebebi 2 numaralı düğümün yönlendirme işlemi yaparken enerjisinin tükenmesidir. 2 numaralı düğümün enerjisinin tükeneceğinden haberdar olmayan 0 ve 1 numaralı düğümler paket göndermiş ve 2 numaralı düğümün enerjisi tükenince bu paketler atılmıştır. 0 numaralı düğümde 4, 1

numaralı düğümde 2 paket kaybı yaşanmıştır. AODV protokolünde 0-5 arası TCP bağlantısının tıkanıklık penceresi Şekil 6.6’da, 1-5 arası TCP bağlantısının tıkanıklık penceresi Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.6. AODV’de 0-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi

Şekil 6.6’da, 20. saniyede trafiğin başlamasıyla birlikte tıkanıklık penceresinin boyutunun arttığı görülmektedir. Trafiğin başlamasının hemen ardından 2 paket atılması görülmüştür ve bu yüzden tıkanıklık penceresinin boyutu her paket atılmasında yarıya düşürülmüştür. Daha sonra tıkanıklık penceresi maksimum seviyeye ulaşmış ve 2 numaralı düğümün enerjisinin bittiği 53. saniyeye kadar bu düzeyde seyretmiştir. 2 numaralı düğümün enerjisinin bitmesi ile 2 paket atılması daha yaşanmıştır. Daha sonra yeni kurulan yoldan aktarıma devam edilmiş ve tıkanıklık penceresi tekrar arttırılarak aktarımın sonuna kadar maksimum düzeyde seyretmiştir.

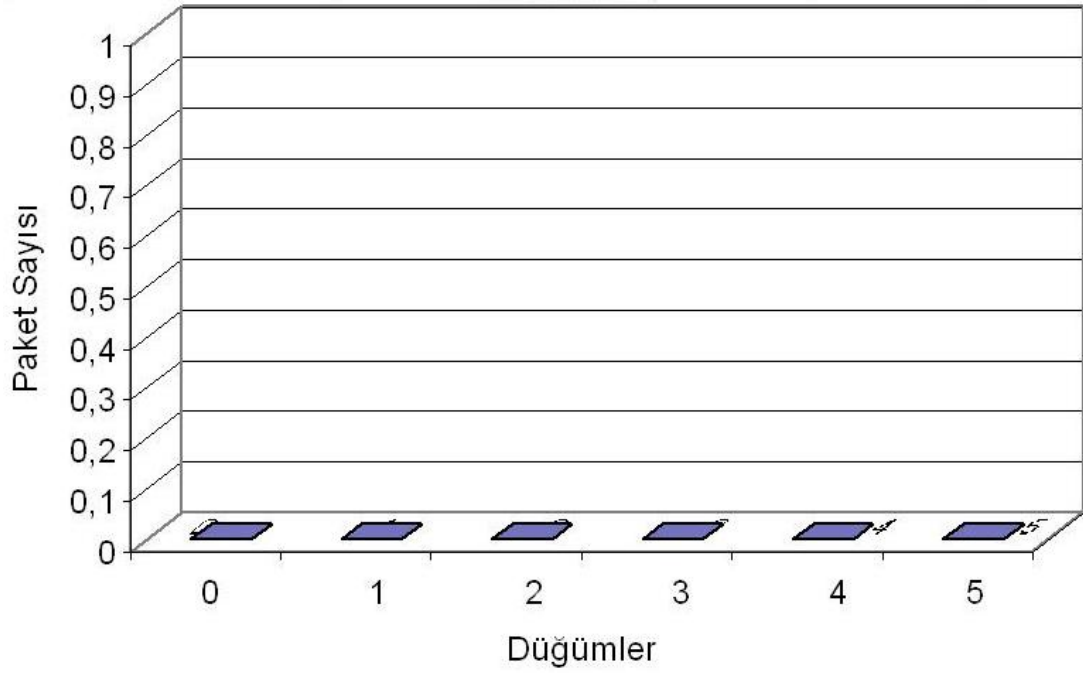


Şekil 6.7. AODV’de 1-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi

Şekil 6.7’de, 20. saniyede trafiğin başlamasıyla birlikte tıkanıklık penceresinin boyutunun arttığı görülmektedir. 2 numaralı düğümün enerjisinin bittiği 53. saniyeye kadar tıkanıklık penceresi maksimum düzeyde devam etmiş, bu saniyede 2 paket atılması yaşanmış ve tıkanıklık penceresinin boyutu TCP’nin kurallarına göre düşürülmüştür. Daha sonra yeni kurulan yoldan aktarıma devam edilmiş ve tıkanıklık penceresi tekrar artırılarak aktarımın sonuna kadar maksimum düzeyde seyretmiştir.

Geliştirilen protokolde enerji tükenmesine dayalı paket kaybı yaşanmamaktadır. Geliştirilen protokole ait paket kaybı grafiği Şekil 6.8’de görülmektedir.

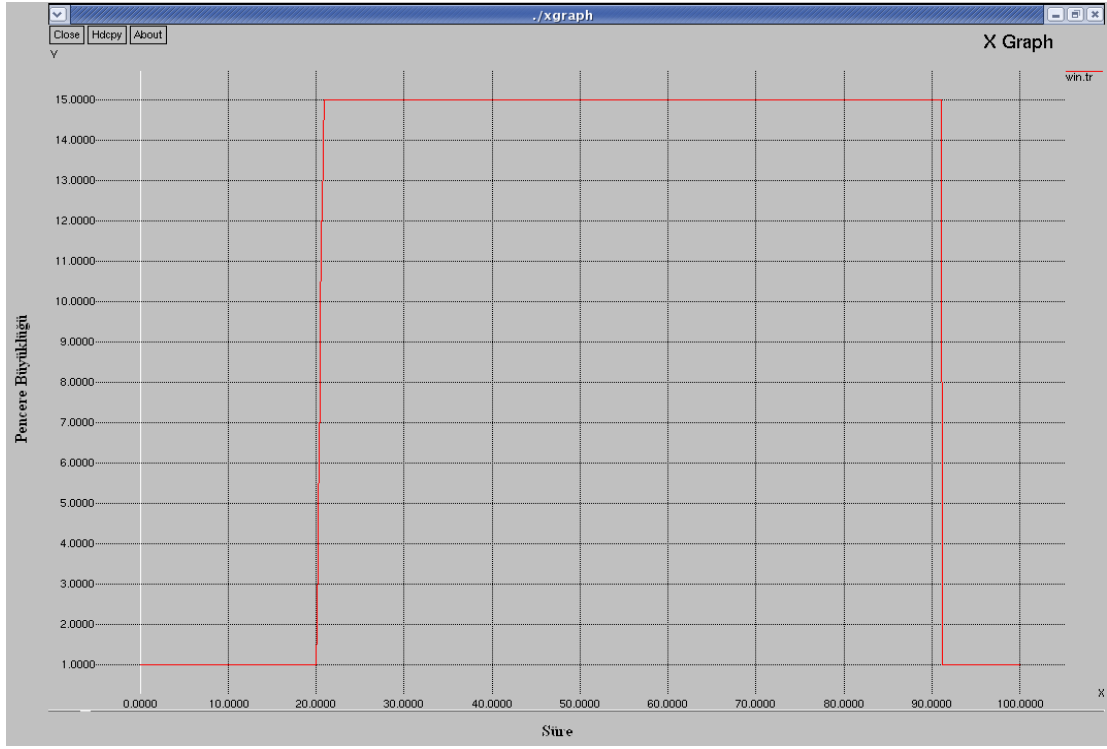
Şekil 6.8’de görüldüğü gibi geliştirilen protokolde düğümler tarafından hiç paket atılmamıştır. Bunun sebebi enerji seviyesi tükenmeden yolun kesilmesidir.



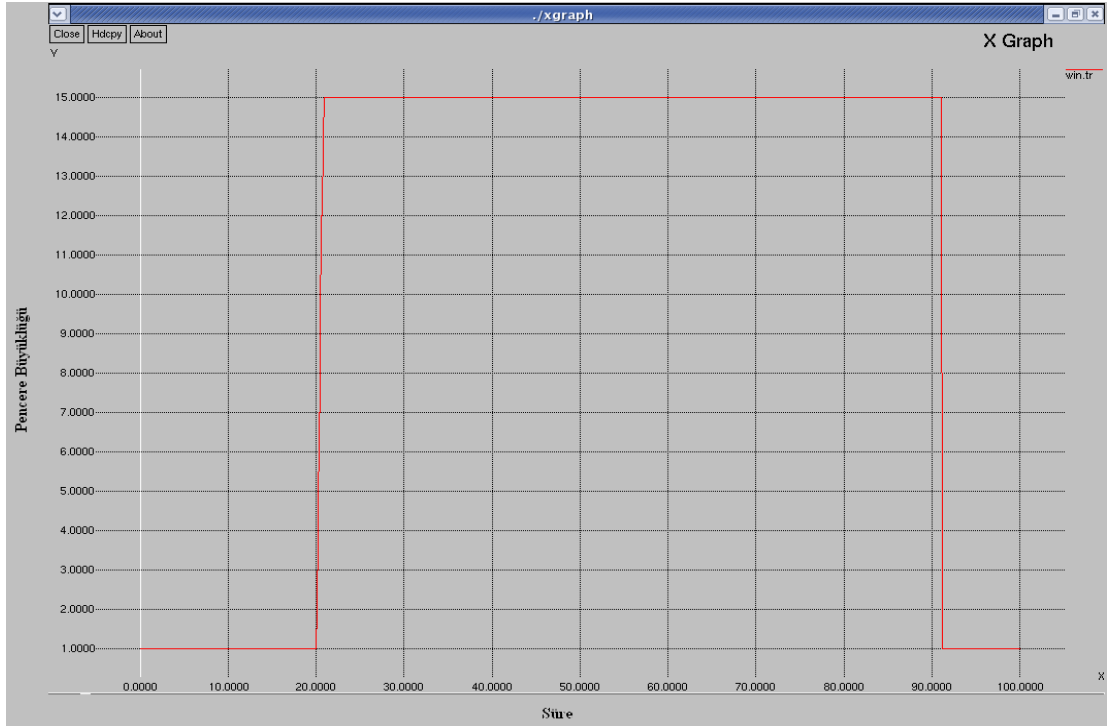
Şekil 6.8. Geliştirilen protokolde atılan paket sayısı

2 numaralı düğümün enerjisi eşik değeri olan 20 joule değerinin altına düştüğünde kaynak düğümler olan 0 ve 1 numaralı düğümlere haber verilmiştir, enerji seviyesi tamamen tükenmemiş durumda olduğu için kaynak düğümler o anda üretilen paketler hedefe yönlendirilmiştir. Geliştirilen protokolde 0-5 arası TCP bağlantısının tıkanıklık penceresi Şekil 6.9’da, 1-5 arası TCP bağlantısının tıkanıklık penceresi Şekil 6.10’da verilmiştir.

Şekil 6.9’da, 20. saniyede trafiğin başlaması ile birlikte tıkanıklık penceresinin arttığı ve maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir. Geliştirilen protokolde 0-5 düğümleri arasındaki TCP bağlantısında paket atılması yaşanmadığı için tıkanıklık penceresi boyutunda bir azalma olmamış ve trafik bitene kadar maksimum seviyede seyretmiştir.



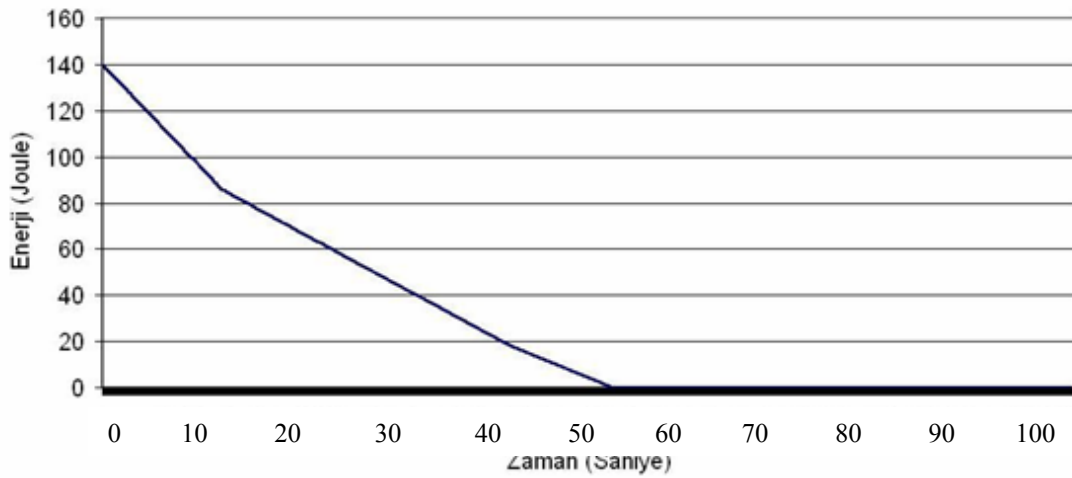
Şekil 6.9. Geliştirilen Protokol’de 0-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi



Şekil 6.10. Geliştirilen Protokol’de 1-5 düğümleri arası TCP tıkanıklık penceresi boyutu değişimi

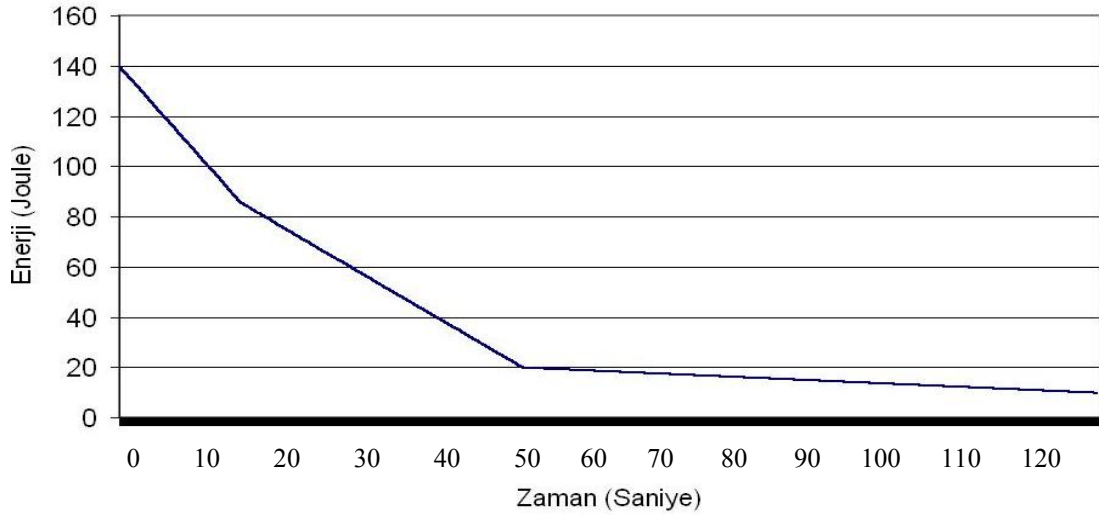
Şekil 5.10’da, 20. saniyede trafiğin başlaması ile birlikte tıkanıklık penceresinin arttığı ve maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir. Şekil 5.9’deki gibi geliştirilen protokolde 1-5 düğümleri arasındaki TCP bağlantısında da paket atılması yaşanmadığı için tıkanıklık penceresi boyutunda bir azalma olmamış ve trafik bitene kadar maksimum seviyede seyretmiştir.

Bu çalışmada hedeflenen bir düğümün ağ üzerinde bulunduğu sürenin uzatılması, ağ üzerindeki yük dağılımının iyileştirilmesi ve en iyi yolu seçen yönlendirme politikalarından kaynaklanan düğüm enerjilerinin tamamen tüketilmesi problemini engellemektir. 2 numaralı düğüm benzetimde enerji seviyesinin gözlemlenmesi gereken düğümdür. AODV protokolünde 2 numaralı düğümün enerji değişim grafiği Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11. 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişimi

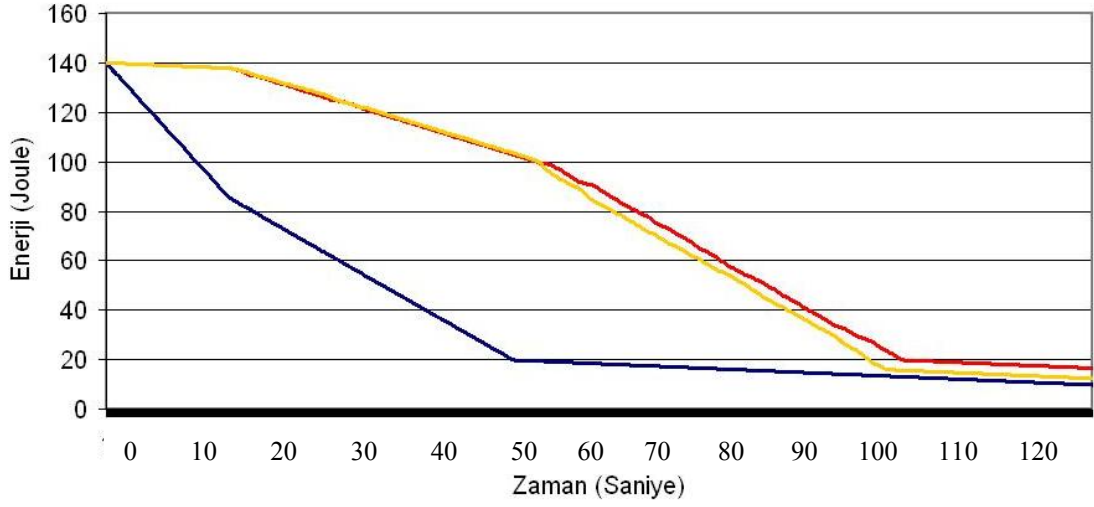
Şekil 6.11’de AODV protokolünde 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişimi grafiği görülmektedir. Düğüm 20. saniyeye kadar 5 numaralı düğüme paket göndermektedir. Bu yüzden 20. saniyeye kadar olan enerji düşüşü daha fazladır. 20. saniyeden sonra 0 ve 1 numaralı düğümlerin gönderdiği paketleri yönlendirmeye başlamıştır. 53. saniyede 2 numaralı düğümün enerjisi tamamen tükenmiştir. Enerjisi tükendiği için düğüm ağdan düşmüştür. Geliştirilen protokolde 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişim grafiği Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12. Geliştirilen protokolde 2 numaralı düğümün zamana göre enerji değişimi

Düğüm 20. saniyeye kadar 5 numaralı düğüme paket göndermektedir. Bu yüzden 20. saniyeye kadar olan enerji düşüşü daha fazladır. 20. saniyeden sonra 0 ve 1 numaralı düğümlerin gönderdiği paketleri yönlendirmeye başlamıştır. 50. saniyede düğümün enerji seviyesi eşik değeri olan 20 joule değerine inmiştir. Bu anda düğüm kaynak düğümlere yolu keseceğini bildirmiştir ve diğer düğümler başka düğümlerin yönlendiriciliğinde paket transferine devam etmiştir. Şekil 6.6’da görüldüğü gibi 2 numaralı düğümün enerjisi AODV protokolünde 53. saniyede tükenmiştir, geliştirilen protokolde ise enerji çok daha uzun süre tükenmemektedir. Enerji seviyesi eşik değerine düştüğü andan itibaren 2 numaralı düğüm sadece ağ üzerinde bulunduğunu diğer düğümlere bildirmiş ve kendi sistem işlemleri için enerji harcamıştır.

Şekil 6.13’da 2, 3 ve 4 numaralı düğümlerin enerji değişim grafiği görülmektedir. Bu düğümlerin üçü de yönlendirme yapmışlardır. Grafikte görüldüğü gibi 2 numaralı düğüm 20. saniyeye kadar paket transferi yapmıştır, 20. saniyeden itibaren paket yönlendirmesi yapmıştır, 50. ve 60. saniyeler arasında enerji seviyesi eşik değerinin altına düştüğünden yönlendirmeyi kesmiştir.



Şekil 6.13. Geliştirilen protokolde 2,3,4 numaralı düğümlerin enerji değişimi

Bu andan itibaren yönlendirme işini 3. ve 4. düğümler üstlenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi 100. ve 110. saniyeler arasında bu iki düğümünde enerji seviyeleri eşik değerinin altına düştüğünden bu iki düğümde yönlendirmeyi kesmişlerdir. Bu andan itibaren 3. ve 4. düğümlerin grafiğinde görülen enerji düşüşü ağ üzerinde bulunduğunu diğer düğümlere bildirmesi ve kendi sistem gereksinimleri için harcanan enerjiden dolayıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde ad-hoc ağlarda enerji etkin bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol ns-2 benzetim aracı kullanılarak test edilmiş ve kablosuz ağlarda yaygın olarak kullanılan AODV protokolü ile karşılaştırılmıştır. En iyi yol bulma veya başta çoklu yol oluşturma gibi yaklaşımlar başlangıçta en iyi yolu bulmaktadır fakat bütün yükü aynı yol üzerine bırakmakla ağ üzerinde yük paylaşımını dengeleyememektedir. Ayrıca yönlendirme işlemini yapan düğümlerden birinin enerjisi tükenene kadar aynı yolu kullanmaya devam ettiğinden, enerji tükendiğinde paket kayıpları yaşanmaktadır, düğüm veya düğümler ağdan düşmektedir, düğümlerin ağdan düşmesi yüzünden ağ bölünebilmektedir.

Geliştirilen protokol başta en iyi yolu kullanırken o yolun düğümlerin enerjisi tükenene kadar kullanılmasını engellemektedir. Yönlendirme işlemini yapan düğümün enerji seviyesi eşik değerinin altına düştüğünde yolu keseceği kaynak düğümlere bildirilmekte ve kaynak düğümler paket göndermeyi kesip başka yol aramaktadır. Ayrıca yönlendirme işlemini yapan düğümün enerjisi tamamen tükenmediğinden son gelen paketleri de yönlendirip sonra yönlendirme işlemini kestiğinden paket kayıpları yaşanmamaktadır. Enerjisi eşik değerinin altına düşen düğümler yönlendirmeyi kestikten sonra sadece ağda olduğunu diğer düğümlere bildirmek, kendine gelen paketleri almak ve diğer sistem ihtiyaçları için enerji harcamaktadır ve böylece daha uzun süre ağ üzerinden bulunmakta ve ağın bölünmesini engelleyebilmektedir.

Deneyisel sonuçlardan geliştirilen protokolün kullanılan yol üzerindeki düğümlerin enerjileri tükenmeden trafiği başka bir yola aktardığından düğümlerin enerjilerinin daha uzun süre kullanıldığı görülmüştür, düğümler ağ üzerinde daha uzun süre etkin olmuşlar ve iletişimin bölünmesini geciktirebilmişlerdir. Düğümlerin enerjilerinin aniden bitmesi ve bu nedenle paket kayıplarının yaşanması engellenmiştir. Ayrıca düğümlerin enerjisi bitene kadar aynı yolun kullanılmaması ağ üzerinde iletişim yükünün dağıtılmasını sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing", *ACM SIGCOMM Computer Commun. Rev.*, 234-244 (1994).
2. S. Murthy, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks", *ACM Mobile Networks and Applications Journal, Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks*, 1(2) : 183-197 (1996).
3. V. D. Park, and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks", *Proc. 16th Annual Joint Conf. of IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 1997)*, 182-187 (1997).
4. Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol", *IEEE J. Select. Areas Commun*, 17(8) : 1395-1414 (1999).
5. D. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad-hoc networks", in Mobile Computing, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 153-181 (1996).
6. C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing", *Proceedings of IEEE WMCSA'99*, New Orleans, 90-100 (1999).
7. C. Siva Ram Murthy, B. S. Manoj, "Ad-Hoc Wireless Networks - Architectures And Protocols", *Prentice Hall*, New Jersey, 1-59, 585-641 (2004).
8. Internet : Internet Engineering Task Force, "IETF MANET Working Group Information", <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, (2006).
9. Y.D. Lin and Y. C. Hsu, "Multi-Hop Cellular: A New Architecture for Wireless Communications", *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, 1273-1282 (2000).
10. A.N. Zadeh, B. Jabbari, R. Pickholtz, and B. Vojcic, "Self-Organizing Packet Radio Ad Hoc Networks with Overlay", *IEEE Communications Magazine*, 40(6): 140-157.
11. W. Xiaohai, C. Guoliang, W. Yingyu and M. Fred, "Optimized priority based energy efficient routing algorithm for mobile ad hoc networks", *Ad Hoc Networks*, Ad Hoc Networks 2, 231-239 (2004).
12. A. Mehran, W. Tadeusz and D. Eryk, "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks", *Ad Hoc Networks*, Ad Hoc Networks 2, 1-22 (2004).

13. S. Singh, M. Woo, C.S. Raghavendra, "Power Aware Routing in Mobile Ad hoc Networks", *Proc. ACM Mobicom*, 181-190 (1998).
14. E. Gelebe, P. Lui and J. Lui, "Genetic Algorithms for Route Discovery", *SPECTS03*, Summer Simulation Multiconference , Society for Computer Simulation, Montreal, 519-524 (2003).
15. E. Gelenbe, "Self-aware Networks and Qos", *ISCIS XVIII*, Lecture Notes in Computer Science, vol.2869, Berlin, 1-14 (2003).
16. E. Gelenbe, M. Gellman and P. Su, "Self-Awareness and Adaptivity for Qos ", *8th IEEE International Symposium on Computer and Communication*, Antalya, 3-19 (2003).
17. E. Gelenbe, M. Gellman and P. Su, "Using loss and delay as Qos goals ", *SPECTS03*, Summer Simulation Multiconference , Society for Computer Simulation, Montreal, 508-513 (2003).
18. E. Gelenbe and R. Lent, "A power-aware routing algorithm", *SPECTS03*, Summer Simulation Multiconference , Society for Computer Simulation, Montreal, 502-507 (2003).
19. Q. Li, J. Alsam and D. Rus, "Online power-aware routing in wireless ad-hoc networks", *7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, ACM Press, Monterey, CA, 97-107 (2001).
20. C.K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks", *IEEE Commun. Mag.* **39**, 30(6): 138-147 (2001).
21. A. Misra and S. Banerjee, "MRPC: maximizing network life for reliable routing in wireless environments", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2: 800-806 (2002).
22. V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control", *Proceedings of ACM SIGCOMM* , Stanford, 314-329 (1988).
23. C.E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination - Sequenced Distance - Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", *Comp. Comm. Rev.*, 234-244 (1994).
24. Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman, and Prince Samar, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks", *Technical report, Internet draft, Virginia*, 5-6 (2002).
25. R. Sriram, G. Manimaram, and C. Siva Ram Murthy, "Preferred Link-Based Delay-Constrained Least-Cost Routing in Wide Area Networks", *Computer Communications*, 21: 1655-1669 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAY, İlker
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.05.1981 Gaziantep
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 3093103
 Faks : 0 (312) 3091929
 e-mail : İlker@altindag.bel.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Lefke Avrupa Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2004
Lise	Fitnat Nuri Tekerekoğlu Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Yeninet İletişim Bilgisayar	Çözümleyici
2006-	Altındağ Belediyesi	Sistem Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Akcayol M.A., Şimşek, M., Bay, İ., Toklu, S., Doğru, İ.A., "Genetic Algorithm Based Location Optimization of Emergency Service Units", 4th FAE International Symposium, European University of Lefke