

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ TASARSIZ AĞLAR İÇİN SERVİS
KALİTESİ TABANLI YENİ BİR YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Selman HIZAL

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet ZENGİN

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

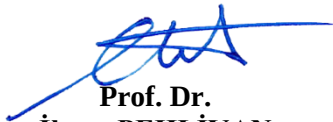
**KABLOSUZ TASARSIZ AĞLAR İÇİN SERVİS
KALİTESİ TABANLI YENİ BİR YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Selman HIZAL

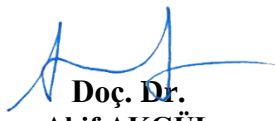
Enstitü Anabilim Dalı : **ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

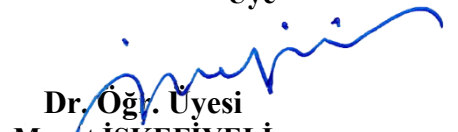
Bu tez 13 / 12 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


**Prof. Dr.
İhsan PEHLİVAN**
Jüri Başkanı


**Doç. Dr.
Ahmet ZENGİN**
Üye


**Doç. Dr.
Mehmet R. BOZKURT**
Üye


**Doç. Dr.
Akif AKGÜL**
Üye


**Dr. Öğr. Üyesi
Murat İSKEFİYELİ**
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Selman HIZAL

13.12.2019

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, ihtiyacım olan her konuda bilgi ve desteğini, araştırmamın planlanmasından yazılması sürecine kadar tüm aşamalarda yardımlarını benden esirgemeyen, sürekli teşvik eden, Danışman Hocam Doç. Dr. Ahmet ZENGİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu aşamaya gelmemde maddi ve manevi katkılarını benden esirgemeyen aileme özellikle de sevgili anneme, babama ve eşim Ayşegül HIZAL'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmam sürecinde eş-dost, akraba, arkadaş gurubundan teşviklerini benden esirgemeyen herkese ve değerli dostum Muhsin ÇELİK'e teşekkür ediyorum.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2012-50-02-038) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Tanımı	2
1.2. Tezin Amacı.....	5
1.3. Yöntem	6
1.4. Bilime Katkısı	6
1.5. Tez Planı.....	7
BÖLÜM 2.	
MANET’LERDE QoS TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ.....	9
2.1. Uygulamaya Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü	11
2.2. Uyarlanabilir Çekirdek Tabanlı Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü	12
2.3. Uyarlanabilir Çözölmeli QoS Yönlendirme Protokolü	13
2.4. AODV Tabanlı Yedeklemeli Yönlendirme Protokolü.....	13
2.4.1. AODV-BR: yol kurulumu.....	15
2.4.2. AODV-BR: yol onarımı.....	16

2.5. AODV Tabanlı Güvenilir Teslimatlı Protokol.....	17
2.5.1. AODV-RD: yol kurulumu.....	18
2.5.2. AODV-RD: yol onarımı.....	19
2.6. Tasarsız Servis Kalitesi Tabanlı İsteğe Bağlı Yönlendirme Protokolü	19
2.6.1. AQOR: yol kurulumu	20
2.7. Bant Genişliği Tahminine Dayalı Servis Kalitesi Duyarlı Yönlendirme Protokolü	21
2.8. Çekirdek Çıkarımlı Tasarsız Yönlendirme Protokolü	22
2.9. Birleştirilmiş Sorgu Paketi Çoklu Yayın Protokolü	23
2.10. Gecikmeye Duyarlı Uyarlanabilir Yönlendirme Protokolü	24
2.11. Dağıtık Entropi Tabanlı Uzun Ömürlü QoS Yönlendirme Protokolü ..	24
2.12. Verimli Hibrit Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü.....	24
2.13. Genetik Algoritma Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü	25
2.14. Hibrit Çok Kısıtlı Optimal Yol QoS Yönlendirme Protokolü	26
2.15. Hiyerarşik QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü	26
2.16. Girişime Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü.....	27
2.17. Konum Tabanlı Coğrafi Yayın ve İletim Yönlendirme Protokolü	28
2.18. Konum Güdümlü Ağaç Protokolü.....	29
2.19. Düğüm Durumlu Yönlendirme Protokolü.....	30
2.20. Tahmini Konum Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü.....	30
2.21. QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü	30
2.22. OLSR Kullanan QoS Yönlendirme Protokolü	31
2.23. QoS AODV Protokolü.....	32
2.23.1. QS-AODV: yol kurulumu	32
2.23.2. QS-AODV: yol onarımı.....	33
2.24. Güvenilir AODV Protokolü	34
2.25. Enerji Duyarlı Kararlılık Tabanlı Yönlendirme Protokolü.....	36
2.25.1. SQ-AODV: yol kurulumu.....	36
2.25.2. SQ-AODV: yol onarımı	38
2.26. MANET'ler için QoS Tabanlı AODV Protokolü	40
2.26.1. qAODV: yol kurulumu	40

2.27. Geliştirilmiş AODV Protokolü.....	41
2.27.1. E-AODV: yol kurulumu	41
2.28. Tasarsız Ağlarda Dağıtık Servis Kalitesi Araştırmalı Bilet Tabanlı Yönlendirme.....	41
2.29. Gezgin Tasarsız Ağlarda Tetiklemeli Dağıtık QoS Yönlendirme	42
2.30. Değerlendirme.....	42

BÖLÜM 3.

QoS TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN

KARŞILAŞTIRILMASI	43
3.1. QoS Yönlendirme Stratejisi.....	45
3.2. Yönlendirme Bilgisi Güncellemesi	46
3.3. Ağ Katmanı ve Ortam Erişim Katmanı Etkileşimi	47
3.4. Tek Kısıtlı ve Çok Kısıtlı QoS Metrikleri	47
3.5. QoS Garanti Tipi	50
3.6. Keşfedilen Yol Sayısı	50
3.7. Protokol Karşılaştırması ve Değerlendirilmesi	51
3.8. Sonuç ve Öneriler.....	55

BÖLÜM 4.

QEAODV PROTOKOLÜ TASARIM VE SİMÜLASYONU	56
4.1. QEAODV Protokolü ve Modelin Tanımlanması	57
4.1.1. QEAODV algoritması.....	58
4.1.2. QEAODV enerji seviyesi kontrolü.....	65
4.1.3. QEAODV düğümler arası bağlantı yaşam süresi hesaplanması.	69
4.2. QEAODV Kontrol Paketleri	72
4.2.1. QEAODV QERREQ paketi.....	73
4.2.2. QEAODV QERREP paketi.....	74
4.2.3. QEAODV QERERR paketi	74

4.3. QEAODV Yol Kurulum Süreci ve AODV Karşılaştırması.....	75
4.3.1. Enerji miktarlarının yeterli olduğu durum	76
4.3.2. Sadece C düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum	79
4.3.3. Sadece B düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum	82
4.3.4. Sadece A düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum.	84
4.4. Protokolün Özellikleri ve Değerlendirme	86
 BÖLÜM 5.	
SİMÜLASYON DENEYLERİ	87
5.1. Simülasyon Ortamı.....	87
5.2. Performans Kriterleri.....	88
5.3. Simülasyon Deneyleri ve Değerlendirme	91
5.3.1. 5-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi.....	91
5.3.2. 10-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi.....	95
5.3.3. 25-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi.....	99
5.3.4. 25-düğümlü hareketli MANET modeli deneyi.....	104
5.3.5. 100-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi.....	109
5.3.6. 100-düğümlü hareketli MANET modeli deneyi.....	113
5.4. Değerlendirme	117
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	118
 KAYNAKLAR.....	
EKLER.....	124
ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAQR	: Uygulamaya Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü (Application Aware QoS Routing Protocol)
ACMP	: Uyarlanabilir Çekirdek Tabanlı Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Adaptive Core Based Multicast Routing Protocol)
ADQR	: Uyarlanabilir Çözölmeli QoS Yönlendirme Protokolü (Adaptive Dispersity QoS Routing Protocol)
AEDR	: Ortalama Enerji Tüketim Oranı (Average Energy Drain Rate)
AGT	: Uygulama Katmanı (Agent - Application Layer)
AODV	: Tasarsız İsteğe Bağlı Uzaklık Vektörü (Adhoc On-Demand Distance Vector)
AODV-BR	: AODV Tabanlı Yedeklemeli Yönlendirme Protokolü (AODV Backup Routing Protocol)
AODV-RD	: AODV Tabanlı Güvenilir Teslimatlı Protokol (AODV with Reliable Delivery Protocol)
AOEKE	: Ağ ve Ortam Erişim Katmanı Etkileşimi
AQOR	: Tasarsız Servis Kalitesi Tabanlı İsteğe Bağlı Yönlendirme Protokolü (Ad Hoc QoS On-Demand Routing Protocol)
BEQR	: Bant Genişliği Tahminine Dayalı Servis Kalitesi Duyarlı (QoS-Aware Routing Protocol Based on Bandwidth Estimation)
BYS	: Bağlantı Yaşam Süresi
CBR	: Sabit Bit Oranı (Constant Bit Rate)
CEDAR	: Çekirdek Çıkarımlı Tasarsız Yönlendirme Protokolü (Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing Protocol)
CQMP	: Birleştirilmiş Sorgu Paketi Çoklu Yayın Protokolü (Consolidated Query Packet Multicast Protocol)

DSARP	: Gecikmeye Duyarlı Uyarlanabilir Yönlendirme Protokolü (Delay Sensitive Adaptive Routing Protocol)
DSDV	: Dinamik Hedef-Sıralı Uzaklık Vektör (Destination Sequenced Distance Vector)
DSR	: Dinamik Kaynak Yönlendirme (Dynamic Source Routing)
E-AODV	: Geliştirilmiş AODV Protokolü (Enhanced AODV Routing Protocol)
EBLLD	: Dağıtık Entropi Tabanlı Uzun Ömürlü (Entropy-based Long-life Distributed)
EBR	: Dağıtık Entropi Tabanlı Uzun Ömürlü QoS Yönlendirme Protokolü (A Distributed Entropy-based Long-life QoS Routing Protocol)
EDR	: Enerji Tüketim Oranı (Energy Drain Rate)
EHMRP	: Verimli Hibrit Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Efficient Hybrid Multicast Routing Protocol)
FTP	: Dosya Aktarım İletişim Kuralı (File Transfer Protocol)
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
GAMAN	: Genetik Algoritma Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü (Genetic Algorithm-Based QoS Routing Protocol)
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
HEY	: Haberleşme Ek Yüğü
HMCOP	: Hibrit Çok Kısıtlı Optimal Yol QoS Yönlendirme Protokolü (Hybrid Multi-Constrained Optimal Path QoS Routing Protocol)
HQMRP	: Hiyerarşik QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Hierarchical QoS Multicast Routing Protocol)
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IQRouting	: Girişime Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü (Interference-aware QoS Routing Protocol)
KYS	: Keşfedilen yol sayısı;
LGF	: Konum Tabanlı Coğrafi Yayın ve İletim Yönlendirme Protokolü (Location-Based Geocasting and Forwarding Routing Protocol)
LGK	: Konum Güdümlü k-ary (Location-Guided k-ary)
LGS	: Konum Güdümlü Steiner (Location-Guided Steiner)

LGT	: Konum Güdümlü Ağaç (Location-Guided Tree)
MAC	: Ortam Erişim Kontrol (Media Access Control)
MANET	: Kablosuz Gezgin Tasarsız Ağ (Mobile Ad hoc Network)
MRS	: Çoklu Geçiş Seçimi (Multipoint Relay Selection)
NS 2	: Ağ Simülatörü 2 (Network Simulator 2)
NS	: Ağ Simülatörü (Network Simulator)
NSR	: Dğm Durumlu Yönlendirme Protokolü (Node State Routing Protocol)
OLSR	: İyileştirilmiş Bağ Durumu Yönlendirme Protokolü (Optimized Link State Routing Protocol)
OSI	: Açıık Sistemler Arabağlaşım (Open Systems Interconnection)
PLBQR	: Tahmini Konum Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü (Predictive Location-Based QoS Routing Protocol)
qAODV	: MANET'ler için QoS Tabanlı AODV Protokolü (A Revised AODV Protocol with QoS for MANET)
QEAODV	: QoS Genişletilmiş AODV Protokolü (QoS Extended AODV)
QERERR	: QoS Genişletilmiş Yol Hatası (QoS Extended Route Error)
QERREP	: QoS Genişletilmiş Yol İstek Cevabı (QoS Extended Route Reply)
QERREQ	: QoS Genişletilmiş Yol İsteği (QoS Extended Route Request)
QMRPD	: QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (A QoS Multicast Routing Protocol)
QOLSR	: OLSR Kullanan QoS Yönlendirme Protokolü
QoS	: Servis Kalitesi
QS-AODV	: QoS AODV Protokolü (QoS for AODV Routing Protocol)
R-AODV	: Güvenilir AODV Protokol (Reliable AODV Protocol)
RCR	: Yol Değiştirme İsteği (Route Change Request)
RERR	: Yol Hatası (Route Error)
RREP	: Yol İstek Cevabı (Route Reply)
RREQ	: Yol İsteği (Route Request)
RTP	: Geręek Zamanlı Taşıma Protokolü (Realtime Transport Protocol)
RTPC	: RTP Kontrol Mesajı (Realtime Transport Protocol Control)

RTR	: Yönlendirme Katmanı (Routing Layer)
SAÜ	: Sakarya Üniversitesi
SQ-AODV	: Enerji Duyarlı Kararlılık Tabanlı Yönlendirme Protokolü (A Novel Energy-Aware Stability-Based Routing Protocol For Enhanced QoS in Wireless Ad-hoc Networks - SQ-AODV)
TBR	: Tasarsız Ağlarda Dağıtık Servis Kalitesi Araştırmalı Bilet Tabanlı Yönlendirme (Ticket-Based Probing Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks)
TCP	: İletim Kontrol Protokolü (Transmission Control Protocol)
TDR	: Gezgin Tasarsız Ağlarda Tetiklemeli Dağıtık QoS Yönlendirme (Trigger-Based Distributed QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks)
TELNET	: İletişim Ağı (Telecommunication Network)
TTL	: Yaşam Süresi (Time to Live)
UAV	: İnsansız Hava Aracı (Unmanned Aerial Vehicles)
UDP	: Kullanıcı Veri Bloğu İletişim Kuralları (User Datagram Protocol)
VBR	: Değişken Bit Oranı (Variable Bit Rate)
YBG	: Yönlendirme Bilgisi Güncelleme
N_r	: Alınan Paket Sayısı
P_r	: Alınan Sinyalin Gücü
$E_c(t)$	: Bir Düğüm Tarafından t Zamanı Süresince Harcanan Toplam Enerji
E_t	: Bir Paketin Gönderimi İçin Harcanan Enerji
θ	: x -Eksenine Pozitif Yönde Yapılan Aç
D_i	: Gecikme
N_t	: Gönderilen Paket Sayısı
G_t	: İleticinin Anten Kazancı
P_t	: İletim Sinyalinin Gücü
B_{min}	: Bant Genişliği
T_{max}	: Uçtan Uca Maksimum Gecikme
H_r	: Alıcının Anten Yüksekliği

G_r	: Antenin Veri Alması
R_i	: Bağlantı Güvenirliği
BYS	: Bağlantı Yaşam Süresi
E_r	: Bir Paketin Alımı İçin Harcanan Enerji Miktarı
G_{idle}	: Boşta Dururken Harcanan Güç Miktarı
T	: Gen Kodlama Aşamasından Sonra Her Yolun Uygunluğu
G_t	: Gönderme
V	: Hız Vektörü
d	: İletici (kaynak düğüm) ve alıcı (hedef düğüm) arasındaki mesafe
H_t	: İleticinin Anten Yüksekliği
f	: İletim Yapan Düğümlerin Sayısı
e	: Kablosuz Bağlantılar
M_{max}	: Maksimum Metrik
R	: Minimum Kapsama Alanı
G_{idle}	: Mobil Düğüm Boşta
G_{sleep}	: Mobil Düğüm Uyku Modunda
v	: Mobil Düğümlerin Sayısı
G_r	: Paket Alım Gücü
G_t	: Paket Gönderim Gücü
$M_{critical}$	: Kritik Metrik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. QoS desteği ile geliştirilen AODV protokolleri	10
Şekil 2.2. Balık kılçığı şeklini almış çoklu yollar	14
Şekil 2.3. D düğümü RREP mesajı gönderiyor	15
Şekil 2.4. C düğümü RREP mesajını iletiyor.....	15
Şekil 2.5. Birincil yol ve alternatif yollar kuruldu	16
Şekil 2.6. AODV-BR yol onarımı.....	16
Şekil 2.7. AODV-RD: yol kurulumu örnek uygulaması.....	18
Şekil 2.8. AODV-RD: yol kopması örnek uygulaması.....	18
Şekil 2.9. AQOR yol kurulumu	20
Şekil 2.10. Çekirdek düğüm yayımına örnek.....	22
Şekil 2.11. Sorgu paket formatı.....	23
Şekil 2.12. Kaynak düğüm A'nın taşıma alanı (r) ve dinleme alanı (2r)	28
Şekil 2.13. Çoklu geçiş seçimi örneği.....	31
Şekil 2.14. QS-AODV yerel yol onarımı örneği.....	34
Şekil 2.15. İş birliğinden kaçınan düğüm araştırmaları	35
Şekil 2.16. SQ-AODV karma katman mimarisi	36
Şekil 3.1. QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin sınıflandırılması	44
Şekil 3.2. Protokoller ve QoS metrikleri ilişkileri.....	48
Şekil 4.1. MANET kullanım alanları	56
Şekil 4.2. QERREQ paketi alımı akış diyagramı.....	61
Şekil 4.3. QERREP paketi alımı akış diyagramı	62
Şekil 4.4. QERERR paketi alımı akış diyagramı	64
Şekil 4.5. QEHHELLO paketi alımı akış diyagramı	65
Şekil 4.6. Dört durumdan oluşan anten modeli.....	66
Şekil 4.7. A ve B düğümleri arasındaki yaşam süresi gösterimi.....	69
Şekil 4.8. Gezgin düğümlerin t_0 ve t_{10} anındaki x ve y konumları	71

Şekil 4.9. Yol isteği (QERREQ) mesaj formatı	73
Şekil 4.10. Yol cevabı (QERREP) mesaj formatı	74
Şekil 4.11. Yol hatası (QERERR) mesaj formatı	75
Şekil 4.12. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (Enerji miktarları yeterli)	76
Şekil 4.13. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (Enerji miktarları yeterli)	77
Şekil 4.14. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (C düğümü enerji miktarı yetersiz)	79
Şekil 4.15. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (C düğümü enerji miktarı yetersiz)	80
Şekil 4.16. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (B düğümü enerji miktarı yetersiz)	82
Şekil 4.17. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (B düğümü enerji miktarı yetersiz)	83
Şekil 4.18. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (A düğümü enerji miktarı yetersiz)	84
Şekil 4.19. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (A düğümü enerji miktarı yetersiz)	85
Şekil 5.1. QEAODV 5 düğümden oluşan simülasyon deneyi	92
Şekil 5.2. Toplam kalan enerji grafiği	93
Şekil 5.3. QEAODV 10 düğümden oluşan simülasyon deneyi	96
Şekil 5.4. Toplam kalan enerji grafiği	97
Şekil 5.5. QEAODV 25 düğümden oluşan simülasyon deneyi	101
Şekil 5.6. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği	103
Şekil 5.7. QEAODV 25 düğümden oluşan hareketli simülasyon deneyi	106
Şekil 5.8. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği	108
Şekil 5.9. QEAODV 100 düğümden oluşan simülasyon deneyi	111
Şekil 5.10. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği	112
Şekil 5.11. QEAODV 100 düğümden oluşan hareketli simülasyon deneyi	115
Şekil 5.12. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği	116

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Servis kalitesi tabanlı AODV yönlendirme protokolleri	11
Tablo 2.2. AODV-BR avantaj ve dezavantajları	14
Tablo 2.3. Döğüm değerdendirme tablosu.....	35
Tablo 2.4. SQ-AODV yönlendirici seçimi algoritması.....	37
Tablo 2.5. SQ-AODV yol onarımı algoritması.....	39
Tablo 3.1. QoS yönlendirme stratejisine göre düz olan protokoller	52
Tablo 3.2. QoS yönlendirme stratejisine göre hiyerarşik olan protokoller	53
Tablo 3.3. QoS yönlendirme stratejisine göre konum tabanlı olan protokoller	54
Tablo 4.1. QoS genişletilmiş yol istek mesajının QERREQ yayınlanması	59
Tablo 4.2. QoS genişletilmiş yol istek cevabı QERREP alınması.....	60
Tablo 5.1. Simölasyon sistem özellikleri	88
Tablo 5.2. 5-Döğümlü hareketsiz MANET Modeli Simölasyon Parametreleri.....	91
Tablo 5.3. Kullanılan enerji modeli parametreleri	92
Tablo 5.4. Enerji tüketim değerdleri	93
Tablo 5.5. Protokol başına toplam kontrol paket sayılarının karşılaştırılması.....	94
Tablo 5.6. Ağ performans parametrelerinin karşılaştırılması	94
Tablo 5.7. 10-Döğümlü hareketsiz MANET modeli simölasyon parametreleri.....	95
Tablo 5.8. Enerji tüketim değerdleri	97
Tablo 5.9. Kontrol mesaj paket sayıları	98
Tablo 5.10. Paket teslim oranları	99
Tablo 5.11. 25-Döğümlü hareketsiz MANET modeli simölasyon parametreleri	100
Tablo 5.12. Enerji tüketim değerdleri	102
Tablo 5.13. Kontrol mesaj paket sayıları	103
Tablo 5.14. Paket teslim oranları	104
Tablo 5.15. 25-Döğümlü hareketli MANET modeli simölasyon parametreleri .	105
Tablo 5.16. Enerji tüketim değerdleri	107

Tablo 5.17. Kontrol mesaj paket sayıları	108
Tablo 5.18. Paket teslim oranları	109
Tablo 5.19. 100-Düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri	110
Tablo 5.20. Kontrol mesaj paket sayıları	112
Tablo 5.21. Paket teslim oranları	113
Tablo 5.22. 100-Düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri	114
Tablo 5.23. Kontrol mesaj paket sayıları	116
Tablo 5.24. Paket teslim oranları	117



ÖZET

Anahtar kelimeler: MANET, Yönlendirme, QoS, Protokol Tasarımı, NS-2

Kablosuz cihazların çeşitliliği ve herhangi bir merkezi kontrol mekanizması olmadan birbirleri ile iletişim kurma ihtiyacının olması kablosuz tasarsız mobil ağların (Mobile Ad hoc Network - MANET) önemini ortaya koymaktadır. Kablosuz ortamda birbirleriyle iletişim kurabilen ve birbirine doğrudan bağlanan mobil cihazların oluşturduğu ağ olan MANET; özellikle askeri ağlarda, acil durumlarda, afet yardımlarında, kurtarma operasyonlarında, akıllı araçlar ve insansız hava araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağ içerisinde bulunan kablosuz cihazlar gerektiğinde bir yönlendirici olarak da görev yapmaktadırlar. Bu cihazların birbirleri ile veri transferi yapabilmesi büyük ölçüde haberleşmedeki yönlendirme işlemine bağlıdır. Özellikle çoklu ortam uygulamaları gibi zaman duyarlı verilerin istenilen ihtiyaçlar doğrultusunda başarılı veri akışının sağlanması için servis kalitesi (Quality of Service-QoS) tabanlı yönlendirme protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır.

MANET’lerde QoS yönlendirme protokolleri tasarlamak için ağ kaynaklarına bağlı sorunlar ve diğer çeşitli teknik zorluklar bulunmaktadır. Günümüze kadar bu alanda birçok QoS tabanlı yönlendirme protokolü çalışması gerçekleştirilmiştir. MANET’lerde ağda bulunan düğümlerin genellikle sınırlı enerji, hesaplama ve depolama kaynakları bulunması nedeniyle düğümler arasında yönlendirme yapmak oldukça zordur. Geleneksel yönlendirme protokolleri en kısa yol veya en az maliyeti göz önünde bulundurmaktadır. Ayrıca kullanılan yol bozulmadığı sürece alternatif yollar aranmamakta veya ikincil bir yedek yol bulundurulmamaktadır.

Bu çalışmada, ağda bulunan mobil düğümlerin enerji seviyesini, kapsama alanlarını, konumlarını, hızlarını, hareketlerini ve bağlantı istikrarı gibi servis kalitesini garanti etmeye yönelik parametreleri göz önünde bulundurarak yeni bir yönlendirme protokolü tasarlanmıştır. Geliştirilen protokol ağ simülatörü (Network Simulator - NS-2) altında değişen ağ ve trafik konfigürasyonlarıyla simüle edilmiştir. Ayrıca AODV ve DSDV protokolleri ile ilgili karşılaştırmalar yapılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Simülasyon sonuçlarına göre QEAODV protokolü düğümlerin enerji seviyeleri ve bağlantı yaşam sürelerini göz önünde bulundurularak yol seçiminin gerçekleştirilmesi genel ağ performansını olumlu yönde etkilemiştir. Yolların istikrarlı hale gelmesiyle uçtan uca gecikme ve paket kayıpları da büyük oranda azaltılmıştır.

QUALITY OF SERVICE BASED ROUTING PROTOCOL DESIGN AND IMPLEMENTATION ON MOBILE AD-HOC NETWORKS

SUMMARY

Keywords: MANET, Routing, QoS, Protocol Design, NS-2

Wireless mobile ad hoc network (MANET) is a network of mobile devices that can communicate directly with each other in a wireless environment. The need for communication with each other without any central control and the diversity of devices reveal the importance of MANET's. It is widely used in military networks, emergency situations, disaster relief, rescue operations, smart vehicles and unmanned aerial vehicles (UAV). Wireless devices in the network also act as a router when necessary which differentiates them from other networks. The ability for transferring data through the network requires these devices to have routing process in the communication. On the other hand, QoS-based routing protocols are needed to ensure successful time-sensitive data flow such as multimedia applications, based on the special constraints.

MANETs have several challenges such as limited network resources, battery problems, dynamic topology and a variety of other technical challenges. Today, many QoS-based routing protocols have been implemented to address such problems. Routing in MANET is a very challenging process because the nodes in the network move randomly, and these nodes often have limited energy, computing, and storage resources. In MANETs, traditional routing protocols perform routing by taking the shortest route or the least cost by taking into the consideration. In addition, a secondary route is not reserved or alternative routes are not searched as long as the used route is not broken. Therefore, across increasing the size and complexity, there is a need for new approaches considering additional constraints besides cost and shortest path metrics.

In this thesis, a new routing protocol has been designed by considering the energy level, coverage, location, speed, movement and link stability parameters for QoS constrained applications. Network simulations were performed from small scale to increasing scale networks and results are discussed. Performance evaluations were made by comparing new protocol with AODV and DSDV state of the art protocols with considering the several criteria such as throughput, control packet overhead, delay and energy level. According to the results from the simulation experiments, the QEAOHV protocol has a better network performance than AODV and DSDV in path selection, energy consumption and link life time. Also end-to-end latency and packet losses are also enhanced due for routes become stable according to the other protocols.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kablosuz cihazların çeşitliliği ve herhangi bir merkezi kontrol mekanizması olmadan birbirleri ile iletişim kurma ihtiyacının olması kablosuz gezgin tasarsız mobil ağların önemini ortaya koymaktadır. Gezgin tasarsız mobil ağlar (MANET), kablosuz ortamda birbirleriyle iletişim kuran ve birbirine doğrudan bağlanan mobil cihazların oluşturduğu ağ olarak tanımlanabilir [1]. MANET özellikle askeri ağlarda, acil durumlarda, afet yardımlarında, kurtarma operasyonlarında, akıllı araçlar ve insansız hava araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

MANET’lerde, bir düğüm dilediği zaman ağa katılabilmekte veya ağdan ayrılabilir. Ayrıca her bir düğüm aynı zamanda yönlendirici işlevi de görmekte ve yönlendirme protokolünün stratejisine bağlı olarak kaynak ve hedef düğüm arasındaki yönlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Fakat ağın sürekli değişkenlik gösterebilmesi nedeniyle istikrarlı iletişim yolları kurmak oldukça zordur [1].

Yönlendirme, gezgin tasarsız ağlardaki en önemli işlemlerden biridir. Yönlendirme, bir ağ üzerinden kaynak düğümden hedef düğüme iletişim kurma yöntemini hesaplama veya seçme süreci olarak adlandırılmaktadır [2]. MANET’lerde kurulan iletişim yolunda, tipik olarak birden fazla ara düğüm veya yönlendirici olabilmektedir. Yönlendirme protokolleri genellikle yönlendiriciler üzerinde çalışmakta ve açık sistemler arabağlaşımı (Open Systems Interconnection - OSI) referans modelinin üçüncü katmanı olan ağ katmanında bir yazılım ile yönlendirme algoritmaları kullanılmaktadır. Yönlendirme protokolleri, bant genişliği, gecikme, bağlantı güvenilirliği, maliyet vb. gibi metrikleri kullanarak bir paket iletimi için en iyi yolu belirleyebilmektedir. Kullanılan yönlendirme algoritmasına bağlı olarak birçok yönlendirme protokolü bulunmaktadır. Yönlendirme protokolünü tasarlarken performans kriterleri, karar zamanı veya yeri, ağ bilgi kaynağı, ağ bilgi güncelleme,

zamanlama parametreleri çok önemlidir [2]. MANET’lerde servis kalitesi gereksinimlerini destekleyerek etkin yönlendirme elde edilebilmektedir. Genellikle ortak olarak görülen gereksinim ağ çıkışıdır. Günümüzde geniş kapsamlı gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları büyük oranda garanti edilen ağ çıkışlarına bağımlıdır. Bununla birlikte, baştan sona performans, bant genişliği ve gecikme gibi birçok QoS ölçütü, zamanında teslim edilmesi gereken bir çoklu ortam trafiğinin ortak gereksinimlerindendir. QoS yönlendirme protokolünün temel amacı, QoS gereksinimlerini veya kısıtlamaları garanti eden kaynak ve hedef düğümler arasında uygun bir yol keşfetmektir [3].

1.1. Problem Tanımı

Kablosuz tasarsız ağlarda bulunan cihazlar genellikle enerji ve hesaplama kapasitesi bakımından zayıftır [1]. Bu cihazlar ağda genellikle hareket halinde olduğundan ağ topolojisi dinamik olarak değişim göstermektedir. Düğümler arasında veri iletişiminin sağlanması için sürekli yeni yollar araştırılması, bulunması veya mevcut yolun onarılması gibi yönlendirme işlemleri gerçekleştirilmelidir. Sürekli değişen bir topolojiye sahip büyük ölçekli ağlarda tüm yönlendirme tablolarının düğümler arasında gezdirilmesi veya sürekli yol kurulumu işlemleri için ağda mesaj ek yükünün oluşturulması ağ performansını olumsuz yönde etkilemektedir [1]. Dolayısıyla bu tür ağlar için yönlendirme protokolü tasarlanırken, tabloya dayalı olmayan ve istek anında yol kurulumu sağlayan metodlar ya da küresel konumlandırma sistemi (global positioning system - GPS) gibi konum tabanlı yöntemler daha verimlidir. Bunun yanı sıra ağdaki cihazların enerji tüketimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve daha efektif bir şekilde veri iletişiminin sağlanması için günümüze kadar birçok QoS tabanlı yönlendirme protokolü geliştirilmiştir [11-39].

QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin tasarlanmasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Aşağıda karşılaşılan bu önemli zorluklar listelenmiştir [1].

Hata toleransı düşük kablosuz kanal: Yapısı gereği kablosuz kanallar bit hatalarına daha yatkındır. Bit hataları güvenilir olmayan kablosuz kanalın ana sorunlarından biridir ve düşük paket teslim oranlarına sebep olmaktadır.

Düğümünlerin gezgin olması: MANET’lerde bulunan düğümler isteklerine göre, farklı hız ve yönlerde rastgele hareket edebilmektedir. Ağ topolojisi kısa ömürlü ve önceden tahmin edilemeyen bir yapıya sahiptir. İletişim için gerekli olan yollar hızlı bir şekilde değişim gösterebilmektedir. Hatta çoğu kurulmuş yol, komşu düğümlerin sinyal alanı dışına çıkması nedeniyle kırılabilir. Bu durum yönlendirme kalitesini zorlaştırmakta ve düşük paket teslim oranlarına sebep olmaktadır.

Merkezi kontrol birimi olmayışı: MANET’ler merkezi bir kontrol birimi olmaksızın, planlanmadan ve kendiliğinden ağ oluşturabilmektedirler. Ağda bulunan düğümler diledikleri zaman ağdan çıkabilmekte veya ağa dahil olabilmektedir. Bu yüzden herhangi bir merkezi kontrol birimi oluşturmak oldukça güçtür. Merkezi kontrol olmayışından dolayı MANET’lerde dağıtılmış yönlendirme algoritmaları tercih edilmektedir. Bu yüzden QoS tabanlı yol bulma işlemi merkezileştirilmiş veya dağıtılmış olmalıdır.

Kanal çekişmesi: Düğümler ağ topolojisini keşfetmek için komşu düğümlerle ortak bir kanal üzerinden iletişim kurmaktadır [1]. Düğümlerin kanaldan faydalanması için çekişme ve girişimler problemlere neden olmaktadır.

Kaynakların sınırlı olması: Mobil düğümler kablolu ağlarda bulunan masaüstü bilgisayarlarla karşılaştırıldıklarında genellikle daha az hesaplama gücü, daha az hafıza ve sınırlı güç kaynakları bulunmaktadır. Bu faktörler QoS sağlanmasında büyük etki göstermektedirler. Örneğin, reaktif yönlendirme protokollerinde bir yol kırıldığında gönderici düğümden paketlerin tamponlanması gerektiğinden dolayı düğümlerin hafıza kapasiteleri oldukça önem arz etmektedir.

Güvenlik: Kablosuz iletişim ortamı izinsiz girişler, gizlice dinleme, trafik analizi gibi aktif saldırılar ve IP sızdırma, paket düşürme, paket değiştirme gibi pasif saldırılar

nedeniyle güvenli değildir. Saldırıların tespit edilerek önlenmesi ağdaki güvenliği sağlamasının yanında QoS performansını da arttırmaktadır. QoS tabanlı yönlendirme protokolü tasarlanırken güvenlik çözümleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin performansları değerlendirilirken sonuçlar üzerinde önemli etkilere sahip olan faktörler bulunmaktadır [1]. Bu faktörlerden bazıları MANET'lerin doğal ortamından kaynaklanmakta ve aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

Düğüm hareketliliği faktörü: Bu faktör genellikle düğümün maksimum hızı, minimum hızı, hız modeli ve duraklama süresi gibi parametreleri kapsamaktadır. Hız modeli düğümün tüm zamanlarda sabit hızla mı yoksa değişken hızla mı hareket ettiğini ve ayrıca nasıl hızlandığı (eşit veya zamanla hızlanarak gibi) bilgisini belirtmektedir. Duraklama süresi ise bir dönem içerisinde düğümün sabit kaldığı süreyi belirtmektedir. Maksimum hız ve minimum hız bilgisi ise ağın topolojisinin ne kadar sıklıkla değiştiğini ve ağ durum bilgisinin güncellenmesi gerektiğini belirtmektedir.

Ağın boyutu faktörü: QoS durum bilgisinin elde edilebilmesi ve yönlendirmenin yapılabilmesi için düğümler arasında bazı kontrol mesajlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Geniş ağlarda gecikme ve mesaj ek yükünün fazla olmamasını sağlamak oldukça güçtür.

Trafik kaynaklarının sayısı, tipi ve veri miktarı faktörü: Ağda daha az trafik olduğunda genellikle daha az yol bulma ihtiyacı olmaktadır. Trafik kaynakları sabit bit hızlı (Constant Bit Rate CBR), poisson dağılımı veya herhangi bir matematiksel modele göre bit veya paket oluşturmaktadır. En yüksek veri hızı ağ paketlerinin sayısını ve dolayısıyla ağ yükünü etkilemektedir. Tüm bu faktörler performansı önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Düğüm iletim gücü faktörü: Bazı düğümler iletim güçlerini değiştirebilme yeteneğine sahiptir. Düğümlerin iletim güçlerinin yüksek olması doğrudan erişebilecekleri komşu sayısının artmasını sağlayacaktır. Fakat düğümler arası girişimler sorunlara neden

olmaktadır. İletim gücünün kontrol edilebilmesi düğümler arasındaki tek yönlü bağlantılarda yönlendirme protokolü performansına önemli katkılar yapmaktadır.

Kanal özellikleri faktörü: Kablosuz kanalların yapısı itibariyle güvenilir olmaması, veri paketleri veya herhangi bir bit alanının doğru bir şekilde alınamaması gibi birçok sebepleri bulunmaktadır. Tüm bunlar QoS sağlanmasında ağın yeteneklerini etkilemektedir.

1.2. Tezin Amacı

Kablosuz cihazların çeşitliliği ve herhangi bir merkezi kontrol mekanizması olmadan birbirleri ile iletişim kurma ihtiyacının olması kablosuz tasarsız mobil ağların önemini ortaya koymaktadır. Ağ içerisinde bulunan kablosuz cihazların birbirleri ile veri transferi yapılması büyük ölçüde yönlendirme işlemine bağlıdır. Özellikle çoklu ortam uygulamaları gibi zaman duyarlı verilerin istenilen ihtiyaçlar doğrultusunda transferinin sağlanması için QoS tabanlı yönlendirme protokolleri popüler araştırma konularından biri olmuştur [1-9].

Bu tez çalışmasının amacı geleneksel yönlendirme protokollerinin eksiklikleri göz önünde bulundurularak, QoS tabanlı yeni bir yönlendirme algoritması geliştirmektir. Geleneksel AODV, DSR, DSDV ve benzeri protokoller enerji seviyesini, kapsama alanlarını, düğümlerin konumlarını, hızlarını, hareketlerini ve bağlantı istikrarı gibi servis kalitesini garanti etmeye yönelik parametreleri göz önünde bulundurmamaktadırlar. Bu protokoller en kısa yol veya en az maliyetle yönlendirme işlemini gerçekleştirmektedirler. Ayrıca kullanılan yol bozulmadığı sürece alternatif yollar aranmamakta veya ikincil bir yedek yol bulundurulmamaktadır.

Çalışmada karma katman mimarisi kullanılarak elde edilebilen düğümlerin enerji seviyeleri, hareketlilikleri, hızları ve konumları göz önünde bulundurularak yeni bir QoS tabanlı yönlendirme protokolü tasarlanmıştır.

1.3. Yöntem

MANET’lerde servis kalitesini garanti edebilecek bir yönlendirme protokolü geliştirmek; ağda bulunan düğümlerin rastgele hareket etmesi ve bu düğümlerin genellikle sınırlı enerji, hesaplama, depolama kaynakları bulunması nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle kaynak düğümden hedef düğüme gönderilmek istenen paketler için en verimli yolun bulunması ve ayrıca bağlantı kopması durumunda yedek yollara hızlıca ulaşılarak veri iletişiminin sağlanması için geleneksel AODV yönlendirme protokolünün QoS desteği ile geliştirilmesi önem arz etmektedir.

MANET’lerde düğümler işbirliği içerisinde hareket ederek yol kurulumu gerçekleştirmektedir. Kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında istikrarlı yolların bulunması genellikle yol üzerinde bulunan düğümlerin enerji seviyelerine, kapsama alanlarına, hızlarına ve konumlarına bağlıdır. MANET’lerde düğümler arasında yol bozulmaları ve paket kayıplarının en büyük sebebi düğümlerin yeterli enerji miktarına sahip olmadığı veya kapsama alanı dışına çıkma durumlarıdır. Bu tür aksaklıkları ortadan kaldırmak için gerekli minimum enerji seviyesine sahip olan düğümler yol kurulumunda görev almaktadır. Ayrıca düğümler arasındaki kapsama alanı, hız, konum bilgileri kullanılarak bağlantı yaşam süresi hesaplanabilmekte ve daha uzun süre aktif kalacak düğümler tercih edilmektedir. Tüm bu özellikleri bünyesinde barındıran MANET’lerde QoS tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü QEAODV tasarlanmıştır.

Bu yeni protokolün ağ simülatörü kullanılarak küçük ölçek, orta ölçek ve büyük ölçekli ağlarda simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Performans kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.4. Bilime Katkısı

Bu tez çalışmasında, MANET’lerde QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin kapsamlı ve güncel bir sınıflandırılması yapılmıştır. Literatürde QoS yönlendirme protokollerinin sınıflandırılması hakkında farklı perspektifler bulunmaktadır. Genel

olarak her bir QoS tabanlı yönlendirme protokolü; ağ topolojisi, hiyerarşi, yol keşif yaklaşımı, konum tabanlı, güç duyarlı, QoS kısıtlamaları ve ağ - ortam erişim katmanı arasındaki etkileşim gibi konuların ele alınmasıyla kategorize edilmiştir. Bu çalışmalar QoS yönlendirme protokol sınıflandırmalarını farklı perspektiflerle değerlendirmekle birlikte, bu çalışmaların tamamı bir arada sınıflandırılmamıştır. Bu çalışmada, tüm sınıflandırmalara sistematik bir yaklaşım getirilirken, yeni bir kategori olan keşfedilen yol sayısı da göz önünde bulundurulmuştur. Bu karşılaştırmalı çalışma, MANET'ler için QoS tabanlı yönlendirme protokolleriyle ilgili geniş kapsamlı konularda detaylı bilgisi olmayan araştırmacılar için yardımcı bir kaynak olacaktır.

Yapılan çalışmada, MANET'ler için QoS tabanlı yönlendirme protokolleri 6 ana kategoride ve 14 alt kategoride incelenmiştir. Ana kategoriler: QoS yönlendirme stratejisi, yönlendirme bilgisi güncellemesi, ağ ve ortam erişim katmanı etkileşimi, QoS metrik tabanlı, QoS garanti tipi ve keşfedilen yol sayısıdır. Çalışmada batarya gücü, bant genişliği, bağlantı / paket kayıp oranı, ağ çıkışı, gecikme, bağlantı istikrarı, arabellek doluluğu, maksimum iletim durumu, minimum atlama gibi tek veya birden çok QoS metriklerini destekleyen protokoller sınıflandırılmıştır. Böylece, her protokolün farklı özellikleri ve performans özellikleri belirtilmektedir.

QoS tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü (QEAODV – Quality of Service Extended AODV) tasarlanmış ve performansı karşılaştırılmıştır. Başarım analizleri küçük, orta ve büyük ölçekli hareketli ve hareketsiz MANET ağlarında incelenmiştir. Yapılan simülasyon sonuçlarında QEAODV protokolünün AODV ve DSDV protokolüne göre daha iyi bir başarıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

1.5. Tez Planı

Bölüm 1'de problemin tanımı, yapılan çalışmanın amacı, yapılan tez çalışmasını diğerlerinden farklı kılan yönler, bilime katkısı ve tez organizasyonu hakkında bilgi verilmektedir.

Bölüm 2’de günümüze kadar geliştirilmiş ve MANET’lerde QoS tabanlı yönlendirme protokolleri arasından bir çok yöntemi kapsayacak şekilde seçilmiş yirmi dokuz adet protokolün ana noktalarıyla incelemesi bulunmaktadır. Her bir protokolün yönlendirme algoritmaları, karşılaşılan zorluklar ve sağladığı QoS desteği ile ilgili detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 3’te bir önceki bölümde incelenen QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin özelliklerinin ve genel yapılarının geniş kapsamlı karşılaştırılması ve sınıflandırılması altı ana başlık ve on dört alt başlık içerisinde değerlendirilmiştir. QoS yönlendirme stratejisi, yönlendirme bilgisi güncellemesi, ağ katmanı ve ortam erişim katmanı etkileşimi, tek kısıtlı ve çok kısıtlı QoS metrikleri, QoS garanti tipi ve keşfedilen yol sayısı gibi ana başlıklar altında protokollerin farklılıkları belirtilmiştir. Bölüm sonunda tüm protokollerin karşılaştırılması için genel bir tablo oluşturulmuş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca sonuç ve öneriler kısmında protokoller ile ilgili bulgular özetlenip gelecekteki araştırmalar için potansiyel ilgi alanları sunulmaktadır.

Bölüm 4’te QoS tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü olan QEAODV bulunmaktadır. Protokolün özellikleri genel olarak tanıtıldıktan sonra, protokolün sağlayacağı avantajlardan bahsedilmiştir. QEAODV protokolü ve modelin tanımlanması ve içerdiği yönlendirme algoritmaları detaylı bir şekilde verilmiştir. Enerji seviyesi kontrolü ve bağlantı yaşam süresi hesaplanması gibi protokolün ana işlevleri tanıtılmıştır. Son olarak QEAODV protokolünün mesaj paket alışverişinin işleyişi, ağ modelleri üzerinde adım adım gösterimi ve anlatımı yapılmıştır.

Bölüm 5’te simülasyon deneylerine yer verilmektedir. Öncelikle simülasyon ortamının performans kriterleri ve karşılaştırılacak parametrelerin seçimi hakkında bilgiler anlatılmaktadır. Ardından küçük, orta ve büyük ölçekli ağlarda QEAODV, AODV ve DSDV protokollerinin simülasyonları ve karşılaştırmaları yapılmaktadır.

Bölüm 6’da yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla özetlenmekte, tez çalışmasının bilime katkıları tartışılmakta ve ileride bu çalışmanın devamı olarak yapılabilecek çalışmalara ışık tutabilecek önerilerde bulunmaktadır.

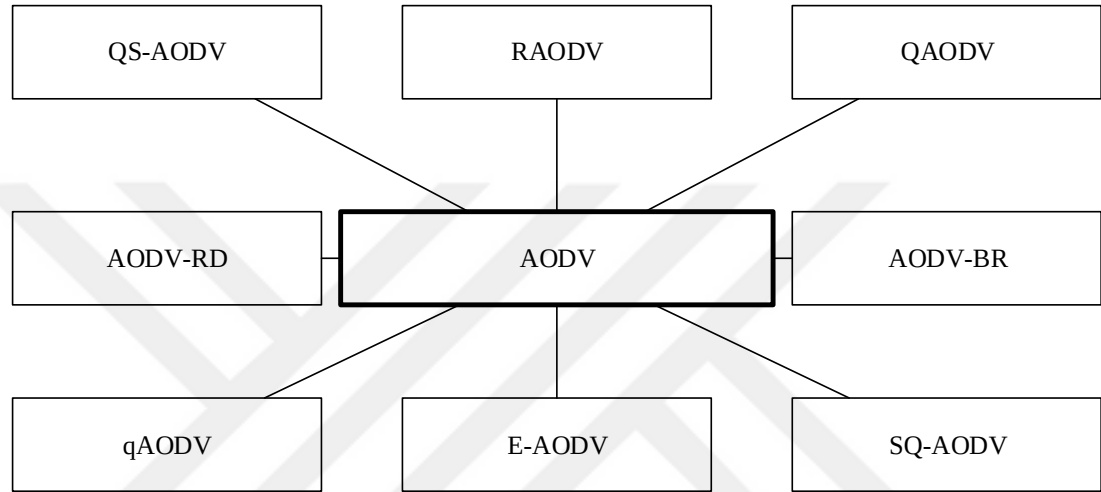
BÖLÜM 2. MANET'LERDE QoS TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Literatürde QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin sınıflandırılması için bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1999'da Chen mevcut QoS yönlendirme algoritmalarına genel bir bakış sunmuş ve farklı yönlendirme stratejilerini karşılaştırmıştır [4]. Chakrabarti ve Mishra, MANET'lerdeki QoS ile ilgili karşılaşılan zorlukları 2001'de dile getirmişlerdir [3]. Yaptıkları çalışmayı 2004 yılında genişleterek güncellemişlerdir [5]. Karaki ve Kamal, 2004 yılında MANET için QoS yönlendirme alanındaki eğilimlerin durumunu incelemişlerdir [6].

2004'ten önce geliştirilen QoS yönlendirme çözümleri, düz (tüm düğümler eşdeğer), hiyerarşik (bazı düğümler grup lideri), konum tabanlı (konum bilgisinin elde edilmesi) ve güç farkında (kalan şarj ve pil kullanımı dikkate alınmakta) olarak sınıflandırılmıştır. Daha iyi servis kalitesi sağlamak amacıyla yapılan yönlendirme çözümlerine 2006'da Reddy ve arkadaşları genel bir bakış yapmışlardır [7]. Yapılan çalışmada mevcut QoS yaklaşımları çeşitli temeller dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

MANET'lerde QoS yönlendirme çözümleri üzerine bir inceleme 2007 yılının başında L. Hanzo ve R. Tafazolli tarafından yayınlanmıştır [1]. 2010 yılında, Sridhar ve Baskaran MANET'lerde QoS desteği ile geliştirilen AODV tabanlı protokolleri analiz etmiştir. Ayrıca her bir protokolde karşılaşılan zorluklar ve kavramlar hakkında incelemelerde bulunmuşlardır. Her bir protokolün çalışma yapısı, geliştirilme sebebi ve eksik olduğu yönleri belirtilmektedir [8]. Aynı yıllarda Santhi ve Alamelu, QoS garantisi sağlamakla ilgili çeşitli sorunları ve zorlukları kapsayan bir çalışma gerçekleştirmiştir. QoS yaklaşımlarını ağ ve ortam erişim katmanı etkileşimi, QoS garanti türü, QoS metrikleri ve yol bilgisi güncelleme süreci olarak sınıflandırmışlardır [9].

Bu bölümde Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi literatürde çok sayıda atıf almış MANET'lerde QoS desteği ile geliştirilen AODV protokollerinden 8 tanesi detaylı olarak incelenmiştir. Her bir protokolde servis kalitesinin sağlanmasında karşılaşılan zorluklardan bahsedilmiştir. Ayrıca QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin performansları değerlendirilirken, sonuçlar üzerinde önemli etkilere sahip olan faktörlerden de bahsedilmiştir.



Şekil 2.1. QoS desteği ile geliştirilen AODV protokolleri

MANET'lerde QoS tabanlı AODV yönlendirme protokolleri Tablo 2.1.'de gösterilmektedir. Bu protokoller AODV'nin algoritmalarında değişiklikler veya güncellemeler yapılarak elde edilmiştir. Bu yüzden tüm protokollerin ağ tipinde belirli bir hiyerarşi söz konusu olmayıp, her bir düğümün eşit görevleri ve yetkisi bulunmaktadır. Yönlendirme işlemi istek anında (reaktif – on demand) gerçekleştirilmektedir.

AODV yapısı gereği sadece tek bir yol keşfi gerçekleştirmektedir. Buna karşın AODV-BR ve AODV-RD yedek yollarında araştırıldığı ve alternatif yolların kullanılabildiği bir yönlendirme algoritması bulundurmaktadır. Tablo 2.1.'de düğümler arasında veri iletişiminin sağlandığı yolların bozulması durumunda protokollerin yeniden yol kurma kabiliyetleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Servis kalitesi tabanlı AODV yönlendirme protokolleri

Protokol	Ağ Tipi	Yönlendirme Tipi	Keşfedilen Yol Sayısı	Yol Yeniden Kurma Kabiliyeti
AODV	Düz	Reaktif	Tekli	Yol bozulması durumunda tekrardan yeni yol kurma isteği kaynak düğüm tarafından gerçekleştirilmektedir.
AODV-BR	Düz	Reaktif	Çoklu	Birincil yol kopması durumunda alternatif yollar devereğe alınarak veri transferi devam ettirilmektedir.
AODV-RD	Düz	Reaktif	Çoklu	Yol üzerinde bağlantı kopma durumunu önceden bildiren mekanizmaya sahiptir. Alternatif yönlendirme tablosu ile yol onarım işlemini gerçekleştirmektedir.
QEAODV	Düz	Reaktif	Tekli	Veri iletişiminin sağlanması aşamasında ara düğümde bir kopma meydana gelebileceği önceden TTL değeri 1 olan mesaj paketi ile kaynak ve hedef düğüm yönüne bildirilmektedir. Paketi alan hedef düğüm yönündeki düğüm yönlendirme tablosundan paketi aldığı düğümün yol bilgisini kaldırır. Aynı şekilde paketi alan kaynak düğüm ise yeni yol kurulumunu için öncelikle yerel yol onarımını denemekte, eğer yerel yol onarımı başarılı olmaz ise QERERR yol hata mesajını kaynak düğüme göndererek, kaynak düğümün yeniden yol kurmasını talep etmektedir.
QS-AODV	Düz	Reaktif	Tekli	Yol üzerinde herhangi bir yerde bağlantı kopması durumunda yerel yol onarımı mekanizması kullanmaktadır.
RAODV	Düz	Reaktif	Tekli	AODV protokolündeki aynı yol onarım metodunu kullanmaktadır.
SQ-AODV	Düz	Reaktif	Tekli	Yol üzerinde bir bağlantı kopma durumu oluşmadan önce periyodik olarak yapılan hesaplamalara ve ek mesaj paketleri ile yol onarımı gerçekleştirilmektedir.

2.1. Uygulamaya Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü

Uygulamaya Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü (Application Aware QoS Routing Protocol - AAQR), gerçek zamanlı taşıma protokolü (Real Time Transport Protocol - RTP) kullanmaktadır. AAQR çoklu ortam uygulamalarının bant genişliği ve gecikme kısıtlamalarına göre en uygun yolu belirlemektedir. AAQR, bitişik iki düğüm

arasındaki iletim gecikmesini belirlemek için iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi, eğer aktif RTP oturumunda gerçek zamanlı kontrol protokol paketi (Real Time Control Protocol Packet RTCP) bulunuyorsa; iletim gecikmesi, düğüm tarafından alınan RTCP paketinden, RTCP paketinin ekstra alanında bulunan transfer edilme zamanı ile farkı alınarak hesaplanmaktadır. Diğer yöntemde ise iletim gecikmesi istatistiksel olarak tahmin edilmektedir. Burada iletim gecikmesi varyansı iki düğüm arasındaki bir yolun sağlamlığını değerlendirmek için hesaplanmaktadır. Ayrıca her bir düğümde RTP oturumu için gerekli ağ çıkışı kaydedilmektedir. Her bir düğümün kalan toplam kapasitesi ise toplam kanal kapasitesi ve düğümde kaydedilen gerekli toplam ağ çıkışı değerleri farkından tahmin edilmektedir.

Yollar istek anında keşfedilmekte ve QoS yönlendirmesi yapılmadan önce çoklu ortam uygulamaları ağ çıkışı ve gecikme kısıtlarını beyan etmektedirler. AAQR, iki düğüm arasındaki en az gecikmeli yolu bulmak için Floyd Algoritmasını kullanarak en kısa uzaklık matrisini hesaplamaktadır [10]. Hesaplanan yollar arasından gecikme ihtiyacını sağlayanlar seçilmekte ve bant genişliği ihtiyacını karşılamayanlar ise elenmektedir. Seçilen yollar arasında eğer birden çok yol bulunuyorsa, en az gecikmeye sahip olan yol seçilmektedir. Eğer bant genişliği ve gecikme ihtiyaçlarını karşılayan birden çok yol bulunuyorsa, AAQR maksimum kullanılabilir bant genişliği olan yolu seçmektedir.

AAQR isteğe bağlı yol keşfi ve QoS tahmini yaptığı için ağ üzerinde ilave kontrol yükü getirmemektedir. Ayrıca gecikme ve ağ çıkışı gereksinimlerini göz önünde bulundurarak yönlendirme yapmaktadır. AAQR protokolü sadece RTP paketleri ile çalıştığı için farklı uygulama alanlarında kullanımı kısıtlı olması bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır [11].

2.2. Uyarlanabilir Çekirdek Tabanlı Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü

Uyarlanabilir Çekirdek Tabanlı Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Adaptive Core Based Multicast Routing Protocol - ACMP), bant genişliğini ve düğümün güç kaynağını verimli kullanabilmek için, veri transfer verimliliği ve yönlendirme ek yükü

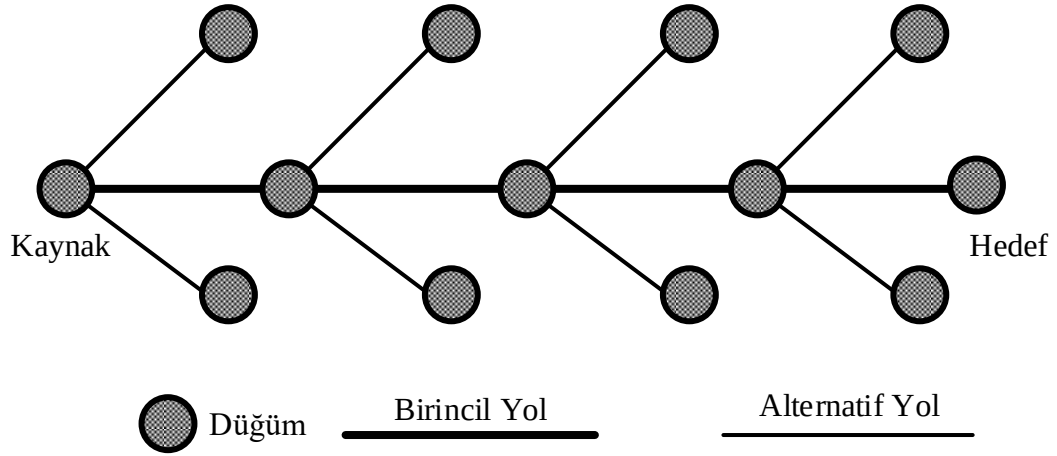
arasındaki çekişmeyi incelemektedir. ACMP tüm grup üyelerini grup paylaşımlı ağaç yapısını kullanarak isteğe bağlı olarak birleştirmektedir. Daha sonra grup paylaşımlı ağaç yapısını kurarak muhafaza etmektedir. Veri transfer verimliliği ağaç yapısı ile elde edilmektedir. Burada yönlendirme mesaj yükü de oldukça küçüktür. ACMP, bağlantı kopukluklarını veri iletimi sırasında hızlı bir şekilde algılamaktadır. Bağlantı kopması algılandığında, yerel yol kurtarma ile geçici bir yol tahsis edilmekte ve optimum multicast ağaç yapısını sağlamak için periyodik ağaç güncellemesi yapılmaktadır. ACMP bir veri paketinin alınması için çok az mesaj paketi kullanmaktadır. Böylece bant genişliği ve güç kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmaktadır [12].

2.3. Uyarlanabilir Çözölmeli QoS Yönlendirme Protokolü

Uyarlanabilir Çözölmeli QoS Yönlendirme Protokolü (Adaptive Dispersity QoS Routing Protocol - ADQR) bant genişliği kısıtlı bir protocol olup yönlendirme kararı verirken sinyal gücünü göz önünde bulundurmaktadır. ADQR, uçtan uca QoS sağlanması için birden fazla farklı yol bulmaktadır. Uzun ömürlü olma ihtimali yüksek olan yol veri transferi için seçilmektedir. ADQR, ağ topolojisi değişikliklerini inceleyerek hızlı yol sağlama şeması önermiş ve yollar kullanılamaz hale gelmeden önce yeniden yönlendirme gerçekleştirmiştir. ADQR, yol onarımı ve yol sağlama mekanizmasını birlikte kullanmıştır. Bu nedenle yönlendirme performansını önemli ölçüde arttırmayı başarmıştır [13].

2.4. AODV Tabanlı Yedeklemeli Yönlendirme Protokolü

AODV Tabanlı Yedeklemeli Yönlendirme Protokolü (Backup Routing Protocol - AODV-BR) birincil ve alternatif yolları birlikte kullanarak Şekil 2.2.'deki gibi balık kılıçına benzer bir ağ yapısı oluşturmaktadır.



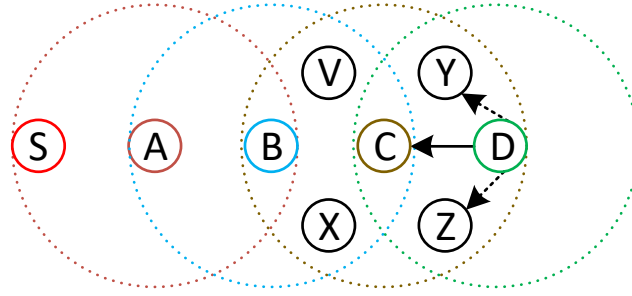
Şekil 2.2. Balık kılçığı şeklini almış çoklu yollar

Birincil yol bağlantısı koptuğunda, alternatif yollar veri transferini sağlamak için başlatılabilmektedir. Ağ yapısı ilave kontrol mesajı kullanılmadan oluşturulmakta ve birden çok alternatif yol içermektedir. AODV ile karşılaştırıldığında, AODV-BR daha büyük uçtan uca gecikmeye sahiptir fakat AODV-BR paket teslim oranını arttırmaktadır. AODV-BR yoğun trafik içeren ağlarda verim sağlamamaktadır [14]. Tablo 2.2.'de AODV-BR avantaj ve dezavantajları gösterilmektedir.

Tablo 2.2. AODV-BR avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
AODV'ye göre daha yüksek paket iletim oranı sağlamaktadır.	AODV'ye göre daha çok uçtan uca gecikme.
İstek anında yönlendirme (on-demand)	Yoğun trafik içeren ağlarda verim sağlamamaktadır.
İlave kontrol mesajı gerektirmez.	
Alternatif yol tablosu bulunmaktadır.	
Yedek alternatif yolları (multipath) kullanmaktadır.	

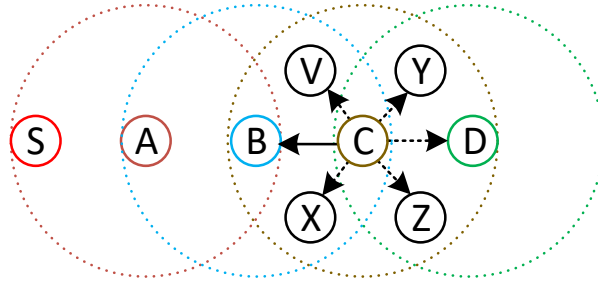
2.4.1. AODV-BR: yol kurulumu



Şekil 2.3. D düğümü RREP mesajı gönderiyor

Örnek Uygulama: S düğümünden D düğümüne veri gönderileceği zaman, ilk olarak S düğümü yönlendirme tablosunda D düğümüne ait yol bilgisini kontrol eder. Yol bilgisi bulunmadığından RREQ mesajını kapsama alanındaki komşu düğümlerine yayımlar. RREQ mesajı D düğümüne ulaştığında <S-A-B-C-D> yolu birincil yol olarak seçilmiştir.

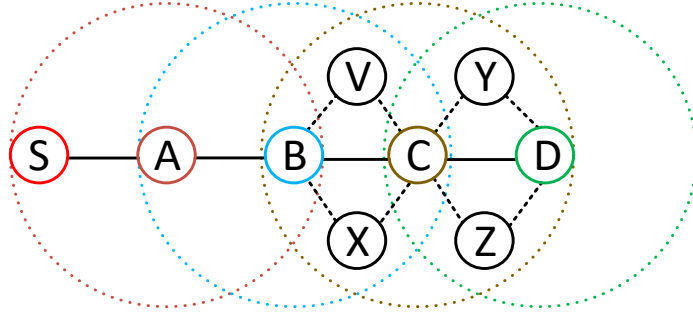
D düğümü aldığı mesaja karşılık RREP mesajını birincil yol üzerinde bulunan C düğümüne gönderir. Bu arada D düğümünün kapsama alanı içinde bulunan Y ve Z düğümleri bu mesajı dinlerler ve alternatif yol tablolarına bu bilgiyi eklerler.



Şekil 2.4. C düğümü RREP mesajını iletiyor

Sadece C düğümü RREP mesajını birincil yol üzerindeki B düğümüne iletir. Bu arada kapsama alanı içerisinde bulunan V ve X bu mesajı dinleyerek alternatif yol tablolarına C düğümünü D düğümüne bir atlama mesafesinde bulunduğu bilgisini eklerler. Y ve Z düğümleri de bu mesajı dinlemelerine karşın yönlendirme tablolarında D düğümüne

doğrudan yol bulunduğundan bunu alternatif yönlendirme tablolarına eklemeyiz. Aynı şekilde D düğümü de hedef düğüm olduğu için herhangi bir işlem yapmaz.

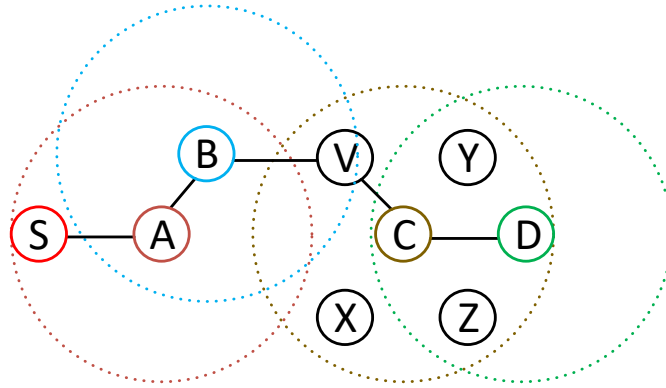


Şekil 2.5. Birincil yol ve alternatif yollar kuruldu

RREP mesaj paketi S düğümüne ulaştığında birincil ve alternatif yollar kurulmuş olur.

2.4.2. AODV-BR: yol onarımı

Birincil yol üzerinde bulunan B düğümünün hareket ederek, C düğümünün kapsama alanı dışına çıkmasıyla B-C arasındaki yol bağlantısı kopmaktadır.



Şekil 2.6. AODV-BR yol onarımı

Veri paketleri A düğümünden B'ye oradan da C düğümüne iletilmekteyken, B-C arasındaki yol bağlantısının kopmasıyla B düğümü kapsama alanındaki alternatif komşu düğüm olan A ve V düğümlerine veri paketlerini göndermektedir. A düğümü paketlerin kendisindeki paketlerle aynı olduğunu tespit ederek bu paketleri düşürmektedir. Bu arada V düğümü paketi almaktadır. Birincil yolun koptuğunu

paketin başlığından algılamaktadır. Alternatif yol tablosunda C düğümünü arayarak bulmakta ve paketleri C düğümüne iletmektedir.

Alternatif yol kullanılarak veri paketi iletimi sürdürülmektedir.

2.5. AODV Tabanlı Güvenilir Teslimatlı Protokol

AODV Tabanlı Güvenilir Teslimatlı Protokol (AODV with Reliable Delivery Protocol - AODV-RD), AODV-BR protokolünü daha güvenilir yapmak için geliştirilmiştir. AODV-RD bağlantı kopması tahmin mekanizmasını kullanarak, iletişim gücü güçlü olan alternatif düğüme yönlendirme yapmaktadır.

İki ışınlı zemin yansıtma modeli için vericiden d mesafesindeki alınan güç P_r şu şekilde ifade edilebilmektedir [15].

$$P_r = \frac{P_t G_t H_t^2 H_r^2}{d^2} \quad (2.1)$$

P_r : Alınan sinyalin gücü

P_t : İletim sinyalinin gücü

G_t : İleticinin anten kazancı

H_t : İleticinin anten yüksekliği

H_r : Alıcının anten yüksekliği

d : İletici (kaynak düğüm) ve alıcı (hedef düğüm) arasındaki mesafe

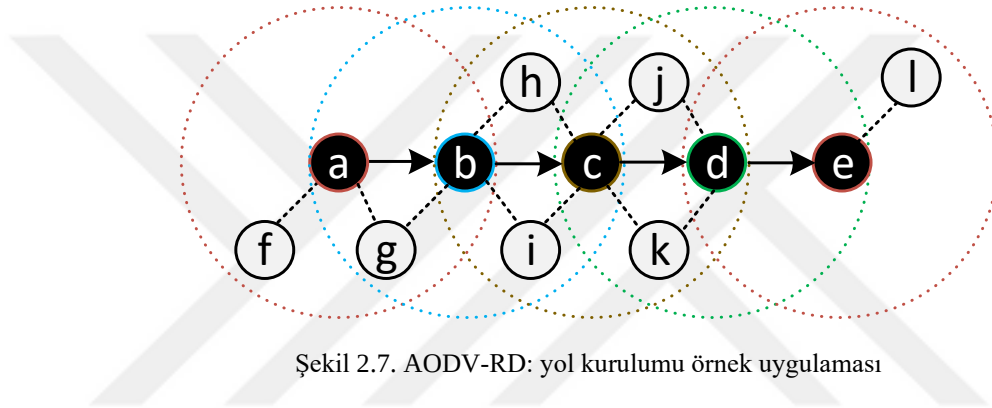
Bağlantı kopma tahmini formülünden yararlanılarak iki düğüm arasındaki mesafe d aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$d = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t H_t^2 H_r^2}{P_r}} \quad (2.2)$$

AODV-BR protokolünde birincil yol bağlantısı koptuğunda herhangi bir yol onarım mekanizması çalıştırılmamaktadır. Bunun yerine alternatif yol tablosundaki bilgilere bakarak yol tekrar oluşturulmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem topolojisi sıklıkla değişen ağlar için verimli olmamaktadır.

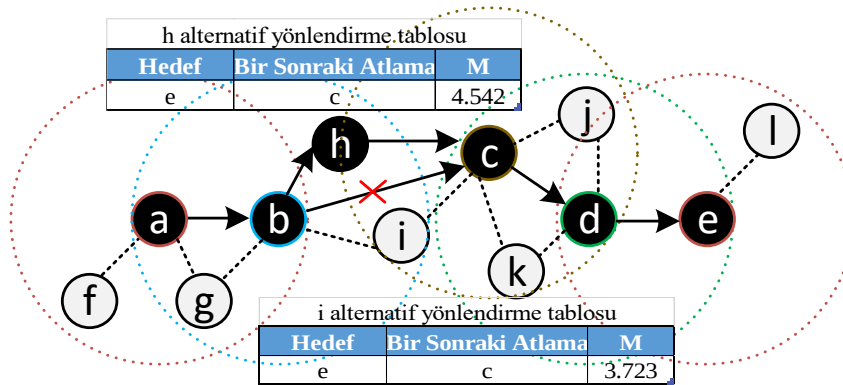
AODV-BR ile karşılaştırıldıklarında, AODV-RD bağlantı kopma tahmini mekanizması sayesinde daha az gecikmeye sahiptir [15].

2.5.1. AODV-RD: yol kurulumu



Şekil 2.7. AODV-RD: yol kurulumu örnek uygulaması

Şekil 2.7.'de AODV-RD yol kurulumu gösterilmektedir. Kaynak düğüm a, hedef düğüm ise e harfi ile gösterilmiştir. Veri iletişimi birincil yol olan “a-b-c-d-e” üzerinden gerçekleşmektedir. Ağ içerisinde bulunan g,h,i,j,k düğümleri ise alternatif düğümleri oluşturmakta ve her düğümde Şekil 2.8.'deki gibi alternatif yönlendirme tablosu bulunmaktadır.



Şekil 2.8. AODV-RD: yol kopması örnek uygulaması

Ağdaki düğümlerin hareketliliğinden dolayı b ve c düğümleri arasındaki bağlantıda kopma tespit edilmiştir. b düğümü TTL=1 olan RREQ mesajını alternatif düğüm olan h ve i düğümüne gönderir. Bu iki düğümden de TTL=1 olan RREP cevabı alır. b düğümü en yüksek metrikli olan düğümü seçerek veri iletişimine devam eder. Böylece yeni kurulan yol “a-b-h-c-d-e” olur [15].

2.5.2. AODV-RD: yol onarımı

AODV-RD birincil yolun kopması daha önceden tahmin edilmektedir. AODV-RD birincil yolda kopma yaşanabilecek bir düğüm tespit ettiğinde komşu düğümlere TTL=1 olan RREQ mesajı yayımlayarak, alternatif bir yol olup olmadığını sormaktadır. Alternatif olarak yönlenecek olan düğümlerin seçiminde sinyal gücü en yüksek olana öncelik vermektedir. Bu işlemler gerçekleşirken aynı zamanda birincil yoldaki bağlantının koptuğunu RERR mesajı üretmek kaynak düğüme gönderilmektedir.

Komşu düğümlerden herhangi birinde alternatif yol bulunuyorsa bunu TTL=1 olan RREP mesajı ile düğüme geri gönderir. Birçok komşu düğümden RREP mesajı alındığında alternatif yolun oluşturulacağı düğümü seçerken maksimum metrik $M_{\max} (M_{\max} \geq M_{critical})$ göz önünde bulundurulur. Eğer $M_{\max} < M_{critical}$ ise alternatif stabil bir yol bulunmamaktadır. Bu sefer yolun onarılması için kaynak düğüme gönderilen RERR mesajına cevap beklenir [15].

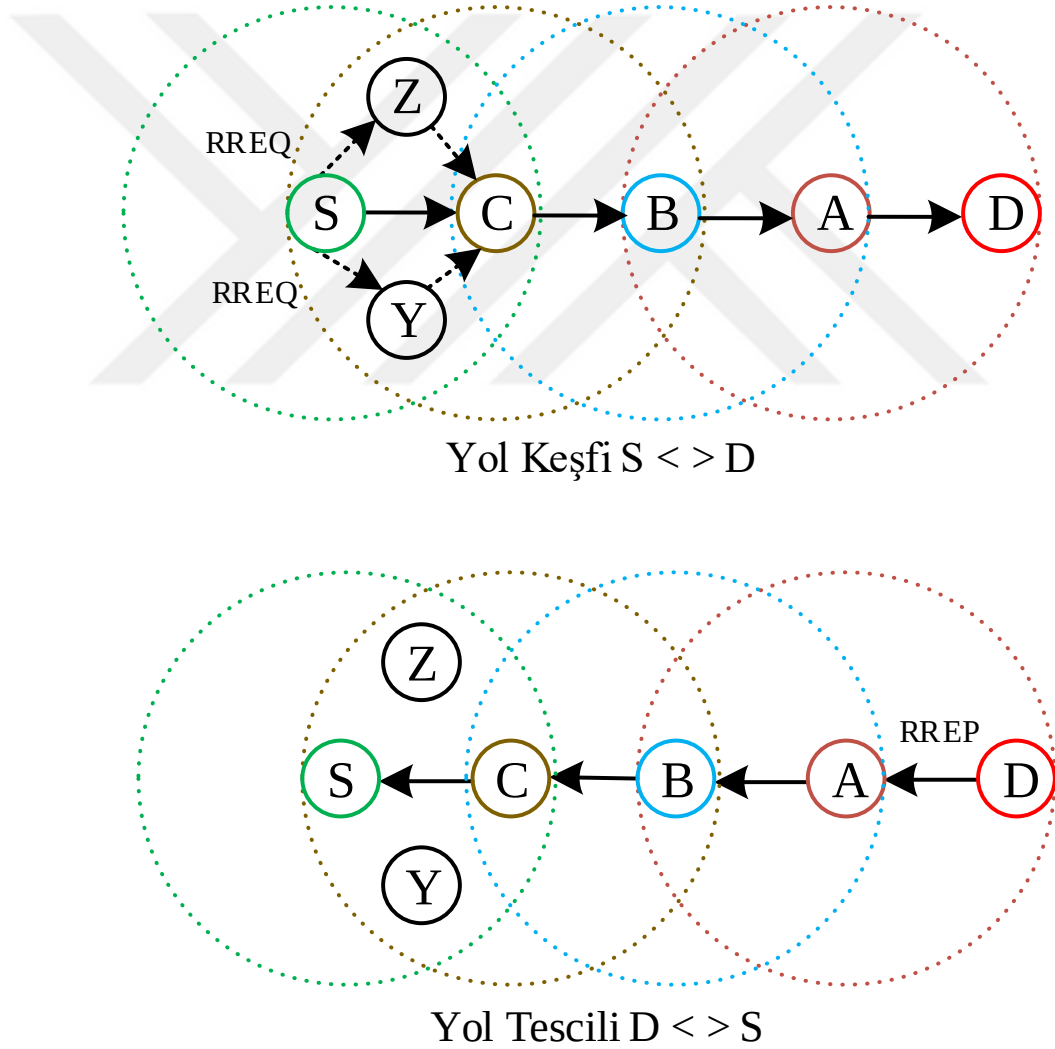
2.6. Tasarsız Servis Kalitesi Tabanlı İsteğe Bağlı Yönlendirme Protokolü

Tasarsız Servis Kalitesi Tabanlı İsteğe Bağlı Yönlendirme Protokolü (Ad Hoc QoS On-Demand Routing Protocol - AQOR) uçtan uca gecikme ve bant genişliğini dikkate alarak kaynak tabanlı yönlendirme yapmaktadır. Yol keşfi isteğe bağlı olarak kaynak ve hedef arasında RREQ ve RREP mesaj paketlerinin yayılmasıyla gerçekleştirilmektedir. AQOR yönlendirme sıra numarası kullanarak her bir akıştaki en güncel kontrol paketini belirleyerek tekrar etmeyen yönlendirme mekanizmasına

sahiptir. AQOR kanal bozulmaları ve bağlantı kopması gibi QoS ihlallerine karşı hızla tepki vermektedir [16].

2.6.1. AQOR: yol kurulumu

AQOR yol keşfini kaynak ve hedef düğüm arasında RREQ ve RREP mesaj paketlerinin yayılmasıyla gerçekleştirmektedir. Yol keşif algoritması Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi kaynak düğüm S'den hedef düğüm D'ye doğru yol keşfi ve tersi yönde ise yol tescili yapmaktadır.



Şekil 2.9. AQOR yol kurulumu

Eğer kaynak düğümün komşu listesinde hedef düğüm bulunmuyorsa, yol keşfi için komşu düğümlere talep edilen bant genişliği $B_{\min}$ ve uçtan uca gecikme $T_{\max}$ bilgilerini içeren RREQ mesajı yayınlar. RREQ mesajını alan her bir komşu düğümde bant genişliği kontrolü yapılır. Eğer talep edilen bant genişliği karşılanabiliyorsa yol bilgisi yönlendirme tablosuna durumu keşfedildi olarak kayıt edilir. RREQ mesaj paketini diğer komşularına iletir. Yönlendirme tablosundaki her bir yol girişi $2T_{\max}$ süresince herhangi bir cevap alınamadığında ilgili giriş silinmektedir. Ayrıca geç gelen cevaplar da göz ardı edilmektedir. Böylece ağdaki kontrol mesaj paket yükü azaltılmış ve hatalı yol girişleri de engellenmiş olmaktadır.

Yol keşfi gerçekleştirilirken yol boyunca ara düğümlerden hedef düğüme birden fazla RREQ mesaj paketi ulaşabilmektedir. Hedef düğüm tarafından her bir RREQ mesajına karşılık ters yol istikametine RREP mesajı gönderilmektedir. Yol boyunca RREP mesajını alan ara düğümler tekrar bant genişliklerini kontrol etmekte ve böylece geçici yol hataları engellenmiş olmaktadır. Eğer paket kabul edilirse ara düğüm yönlendirme tablosundaki yol bilgisinin durumunu tescilli olarak güncellemektedir. Tescil işlemleri tamamladıktan sonra yol boyunca düğümler veri paketlerini iletmeye hazır konuma gelmektedirler.

AQOR yönlendirme yaparken tekrarları önleyebilmek ve her bir akış içerisindeki kontrol mesaj paketlerinin güncelliğini koruyabilmek için yol sıra numarası kullanmaktadır [16].

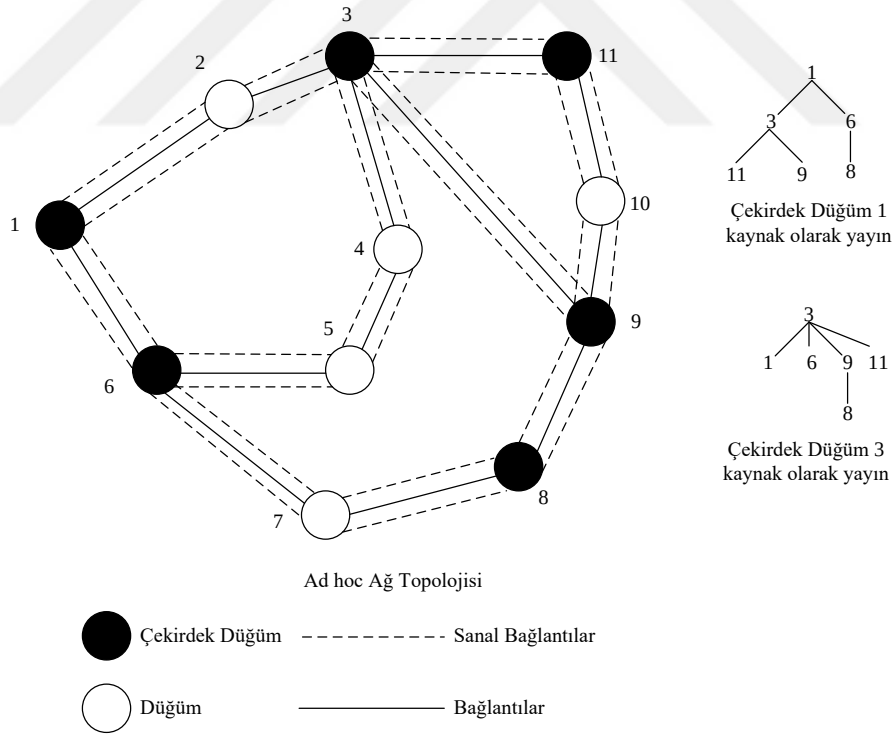
2.7. Bant Genişliği Tahminine Dayalı Servis Kalitesi Duyarlı Yönlendirme Protokolü

Bant Genişliği Tahminine Dayalı Servis Kalitesi Duyarlı Yönlendirme Protokolü (QoS-Aware Routing Protocol Based on Bandwidth Estimation - BEQR), gerçek zamanlı uygulamaların QoS gereksinimlerini karşılamak için kabul kontrol şeması ve geri besleme şemasını içermektedir. BEQR ‘Hello’ mesajları ile bant genişliğini tahmin ederek bu şemaları oluşturmaktadır. BEQR sadece bant genişliği kısıtını

dikkate almakta ve uçtan uca ağ çıkışını etkilemeden paket teslim oranını arttırabilmektedir [17].

2.8. Çekirdek Çıkarımlı Tasarsız Yönlendirme Protokolü

Çekirdek Çıkarımlı Tasarsız Yönlendirme Protokolü (Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing Protocol - CEDAR), MANET’lerde bulunan düğümlerden bir alt küme seçmektedir. Şekil 2.10.’da görüldüğü gibi seçilen bu kümeye ağın çekirdeği denilmektedir. Kaynak düğüm içerisinde kaynak, hedef ve istenilen bant genişliği alanlarını bulunduran RREQ mesaj paketini yerel çekirdek düğüme göndermektedir. Yerel çekirdek düğüm, hesaplamaları yaptıktan sonra eğer mümkünse QoS yolu kurmaktadır. Her kümede bulunan çekirdek düğümler yerel durum bilgilerini sağlamakta ve sanal bağlantılar ile diğer çekirdeklerle iletişim kurmaktadır. Yol hesaplaması sadece çekirdek düğüm üzerinde yapılmaktadır.



Şekil 2.10. Çekirdek düğüm yayınına örnek

Her çekirdek düğüm sadece kapsama alanı içerisindeki komşu çekirdek düğümü bilmekle yükümlü olup, çekirdek alt kümesindeki düğümler hakkında küresel bir

bilgiye sahip olması gerekmemektedir. Bu sayede, kırılan bağlantıların onarımı veya ağ topolojisi değişikliklerine adaptasyon kolaylaşmaktadır. Çekirdekler arasındaki yollar isteğe bağlı olarak kurulmaktadır ve yol hesaplaması sadece özel bir yol isteği alındığında yapılmaktadır. CEDAR yol hesaplamasında oldukça başarılıdır ve her bir çekirdek düğümde yol hesaplaması için sadece yerel durum bilgisini kullanmaktadır [18].

2.9. Birleştirilmiş Sorgu Paketi Çoklu Yayın Protokolü

Birleştirilmiş Sorgu Paketi Çoklu Yayın Protokolü (Consolidated Query Packet Multicast Protocol - CQMP) birleştirilmiş sorgu paket mekanizması kullanmaktadır. Kaynak düğüm birçok düğüme Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi sorgu paketi göndermektedir.

Kaynak Sayısı	Sorgu Paket Başlığı
Gönderici ID	
Sorgu Sıra Numarası	
Son Atlama ID	
Kaynak Satırı #	
Kaynak ID	Kaynakların Listesi
Çok Yönlü Grup ID	
Şimdiki Sıra Numarası	
Sonraki Sıra Numarası	
Atlama Sayısı	
Zaman Aralığı	

Şekil 2.11. Sorgu paket formatı

Alıcı farklı kaynaklardan çok sayıda sorgu paketleri almaktadır ve mevcut önbelleğindeki gönderici ID ve sorgu sıra numarası alanları ile paketin güncelliğini kontrol etmektedir. Eğer eşleşen bir kayıt olursa bu paket kopya olarak değerlendirilir ve paket kullanılmaz. Aksi takdirde paket işlenir ve ID, sonraki sıra numarası ve zaman aralığı değerleri alıcının yönlendirme tablosuna kaydedilir. Kaynak sayısı alan değeri her düğümde birer arttırılmaktadır. CQMP birleştirilmiş sorgu paketlerini kullandığı için çok daha az kontrol ek yükü bulunmaktadır. CQMP yüksek hareketliliğe sahip ağlarda veri iletim oranı azalacağından verimli olarak kullanılamamaktadır [19].

2.10. Gecikmeye Duyarlı Uyarlanabilir Yönlendirme Protokolü

Gecikmeye Duyarlı Uyarlanabilir Yönlendirme Protokolü (Delay Sensitive Adaptive Routing Protocol - DSARP) isteğe bağlı ve MAC katmanından bağımsız bir yönlendirme protokolüdür. DSARP yeni bir yol keşfi yaparken en kısa yol ve en az ortalama gecikmeyi garanti edecek şekilde ve dinamik kaynak yönlendirme protokolüne (Dynamic Source Routing - DSR) ek özellikler katarak geliştirilmiştir. DSARP, DSR protokolüne göre daha iyi performans sağlamasına karşın bazı dezavantajları bulunmaktadır. Yeni bir oturum başlatıldığında tamponlanan paketler tekrar keşfedilmek zorunda olduğundan DSARP ekstra yük getirmektedir. Ayrıca MANET’lerde düğümlerin gezgin olması durumunda uçtan uca gecikmeyi garanti edememektedir [20].

2.11. Dağıtık Entropi Tabanlı Uzun Ömürlü QoS Yönlendirme Protokolü

Dağıtık Entropi Tabanlı Uzun Ömürlü QoS Yönlendirme Protokolü (A Distributed Entropy-based Long-life QoS Routing Protocol - EBR) bir yolun yaşam süresini yani stabil olmasını entropi olarak tanımlamaktadır. Entropi tabanlı uzun ömürlü QoS yönlendirme (entropy-based long-life distributed QoS routing - EBLLD) algoritması sayesinde en uzun yaşam süresi olan yolu seçerek QoS sağlanmaktadır. Yaptıkları çalışmada simülasyon sonuçlarına göre EBR yüksek yönlendirme oranlarına erişmiştir. Ayrıca çok az kontrol mesajı kullanmasıyla ağa ek yük getirmemektedir [21].

2.12. Verimli Hibrit Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü

Verimli Hibrit Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Efficient Hybrid Multicast Routing Protocol - EHMRP) alıcı tarafından başlatılan, kaynak ağacı tabanlı çok noktaya yönlendirme protokolüdür. Ağda bulunan bir düğüm multicast ağacına katılmak istediğinde, yerel grubunda kendisinden iki atlama mesafesinde bulunan diğer düğümlere tanıtım mesajını yayınlamaktadır. Böylece her düğüm iki atlama mesafesindeki düğüm bilgisine ulaşmaktadır. Eğer birden çok paket alınırsa, en yakın

ve stabil olan seçilmektedir. Eğer kaynak kendisine aynı mesafede olan düğümlerden paket alırsa, bu sefer en yüksek ID'li olan paket seçilmektedir. Eğer bir düğüm topluluk liderine katılmak istiyorsa, liderine CHILD mesajı göndermektedir ve lider de karşılık olarak leader mesajı göndermektedir. Eğer bir düğüm ağaçtan ayrılmak isterse CHILD mesajı göndermeyi kesmektedir. EHMRP grup içerisinde birçok düğüm olmasına rağmen kontrol ek yükünü azaltması ve paket teslimini sağlaması bir avantajdır. Dezavantajı ise bağlantı kopmaları nedeniyle ağ topolojisinin bozulması ve paket teslimlerinin azalmasıdır [22].

2.13. Genetik Algoritma Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü

Genetik Algoritma Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü (Genetic Algorithm-Based QoS Routing Protocol - GAMAN) uçtan uca gecikme ve iletim başarı oranı gibi QoS ölçütlerini dikkate alarak en iyi yolu bulmaktadır. Genetik algoritmalar (GA) sezgisel olarak bir problemin çözümüne yaklaşık en iyi çözümü bulmak için kullanılmaktadır. GA'nın QoS tabanlı iki adet en iyi yol bulma algoritmaları vardır. İşlemin ilk aşamasında yollar gen kodlama ile kodlanmaktadır. Bu amaçla yollar isteğe bağlı olarak keşfedilir ve mantıksal bir ağaç yapısı içerisinde bir ağ topolojisi görünüşü oluşturulmaktadır. Her bir düğüm kendisine komşu olan diğer düğümleri ağaç yapısında alt düğüm olarak saklamaktadır. Tekrar eden alt ağaç yapılarından korunmak için ağaç azaltmaları kullanılmaktadır. Her bir ağaç birleşimi genleri, genlerin birleşimi ise yolları temsil eden kromozomları oluşturmaktadır [23].

Yol keşif algoritması bir bağlantı üzerindeki ortalama gecikme ve her bir yol üzerindeki bağlantıların güvenilirliği gibi yerel olarak hesaplanan ölçütleri topladığı varsayılmaktadır. Gen kodlama aşamasından sonra her yolun uygunluğu T aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\prod_{i=1}^n R_i} \quad (2.3)$$

Bağlantı i üzerindeki D_i gecikmeyi ve R_i ise bağlantı güvenirliliğini temsil etmektedir. Uygunluk değerleri çapraz üreme ve mutasyon için yolların seçiminde kullanılmaktadır. En uygun yol (en küçük T) ve genetik operasyonlardan yavrular sonraki kuşağa taşınmaktadır.

Bu yöntem gecikme ve bağlantı güvenirliliği ölçütlerini bir arada kullanarak sezgisel olarak en iyi değeri bulmada kullanışlı olsa da genetik operasyonların daha anlaşılabilir olması için yeterli genetik bilgiye ulaşılmasında daha fazla yollar araştırılmalıdır. Bu yöntem geniş ağlar için uygun değildir. D_i ve R_i lerin hesaplanmasından bahsedilmemiştir. Bu değerler her bir bağlantının son düğümünden istatistiksel olarak hesaplanabilir. Genetik algoritmaları kullanışlı yapabilmek için yeterli yol bilgisi toplamak ve bu bilgileri muhafaza etmek ekstra yük ve enerji tüketimi açısından maliyetlidir. Ancak sezgisel yöntemler genellikle NP-tam çok kısıtlı çoklu atlamalı QoS yönlendirme problemlerini çözmede tek mümkün yoldur. Bu nedenle MANET'ler için GAMAN uygulanabilirliği kısıtlı iken genetik algoritmalar bazı ortamlarda çoklu QoS kısıtlarını karşılayarak en iyi yakın yolları bulmada başarılı olabilmektedir [23].

2.14. Hibrit Çok Kısıtlı Optimal Yol QoS Yönlendirme Protokolü

Hibrit Çok Kısıtlı Optimal Yol QoS Yönlendirme Protokolü (Hybrid Multi-Constrained Optimal Path QoS Routing Protocol - HMCOP) hesaplama yükünü ve protokol kontrol mesajları ek yükünü azaltmayı ve QoS şartlarını sağlamayı hedeflemektedir. Kullandıkları algoritmalar k -en kısa yol, kaynak rezervasyonu için kontrol mesaj yapısını ve yol optimizasyonu için maliyet fonksiyonlarını kapsamaktadır [24].

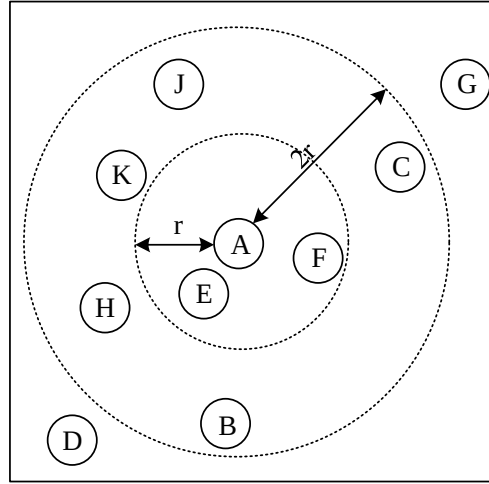
2.15. Hiyerarşik QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü

Hiyerarşik QoS Çoklu Yayın Yönlendirme Protokolü (Hierarchical QoS Multicast Routing Protocol - HQMRP), alıcı tarafından başlatılan ve paylaşılan ağaç tabanlı çok noktaya yönlendirme protokolüdür. Başlıca amacı mobil kullanıcılar için QoS

sağlamaktır. Düğümler, gruplar halinde kümelere bölünmüştür. Her düğüm sadece yerel kümesinde bulunan bilgiye sahiptir. Tüm grupların bilgisine erişmesine gerek yoktur. Yeni bir düğüm kümeye katılmak istediğinde üst düğüme JOINreq mesajı göndermektedir. JOINreq mesajı içerisinde GA grup adresini, NA düğüm adresini ve QM ise QoS ölçütünü belirtmektedir. İstekte bulunan düğümün kümeye girmesi için üst düğüm JOINreq mesajını tablosuna eklemektedir. Girişlerin sayısı kümelerin hiyerarşi seviyelerine eşittir. İstenilen bir küme bulunamadığında küme içerisinde bulunan düğüm MTgenerate mesajı ile bir ağaç oluşturabilmektedir. Bu mesaj ağaç boyunca yayınlanmakta ve yeni bir düğüm katılmak istiyorsa üst düğüme MTupdate mesajı göndermektedir. Düğümün çok noktaya ağaç yapısı içerisinde bulunması mantıksal değer ile belirlenmektedir. Eğer uygunsa bu değer doğru, değilse yanlış olarak ayarlanmıştır. Bir düğüm çok noktaya ağaç yapısı bulduğunda JOINreq mesajını bulunduğu kümeye ve diğer komşularına göndermektedir. Bu kısımda QoS desteği sağlanmaktadır. Her bir düğüm periyodik olarak bağlantı üzerinde aldığı mesajın gecikme içerip içermediğini kontrol etmektedir. Düğümler gecikme içermeyen bağlantılara öncelik seviyesi vermektedir. HQMRP gecikme engelleyici ve az kontrol ek yükü olması bakımından avantajlıdır. Fakat her bir yerel düğümde çok fazla işlem yükü gerektirmektedir [25].

2.16. Girişime Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü

Girişime Duyarlı QoS Yönlendirme Protokolü (Interference-aware QoS Routing Protocol-IQRouting), bağlantılar arasındaki girişim bilgisi tabanlı ve ağ çıkışı kısıtı olan bir yönlendirme protokolüdür. En önemli avantajı herhangi ekstra kontrol mesajı kullanmadan AODV'nin HELLO mesajlarını kullanarak bant genişliğini elde edebilmesidir.



Şekil 2.12. Kaynak düğüm A'nın taşıma alanı (r) ve dinleme alanı ($2r$)

Bununla birlikte bu tekniğin başarısız olduğu kısımlar Şekil 2.12.'de gösterilmiştir. Düğüm B, düğüm A'nın dinleme alanı içerisindeydir. Fakat A'nın herhangi bir komşusunun taşıma alanında değildir. Bu nedenle B düğümü kanal kullanımı hakkında A düğümünü bilgilendirememekte ve böylece A düğümünün kanal kapasitesinden bu bilgi çıkartılamamaktadır [26].

2.17. Konum Tabanlı Coğrafi Yayın ve İletim Yönlendirme Protokolü

Konum Tabanlı Coğrafi Yayın ve İletim Yönlendirme Protokolü (Location-Based Geocasting and Forwarding Routing Protocol - LGF), kaynak tarafından başlatılan ve paylaşımlı ağ yapısını kullanan çok noktaya gönderim yönlendirme protokolüdür. LGF yönlendirme protokolü düğümlerin coğrafi konumlarını, iletim yapan düğümleri ve grup üyeliği ölçeklenebilirliğini kullanmaktadır. Grup üyeleri iletim için sadece yerel topolojiyi elde etmekte ancak global topoloji hakkında bilgi sahibi olmamaktadır. LGF, bağlantıda herhangi bir problem yaşarsa paketleri bölerek farklı orta düğümlere transfer etmektedir. Grup üyeliği yolun kırılmasını kurtarmak için üyelerin hiyerarşik pozisyonlarını kullanmaktadır. LGF, topoloji bilgisi olmadan düğümün coğrafi bilgisini kullanmakta ve en yakın düğümün paket dağıtımını varsaymaktadır. Bu algorithmada ağa yakın bir iletilci bulunduğunda ağ mesafesi kısa; eğer yakında bir iletilci bulunmuyorsa ağ atlama mesafesi uzak olmaktadır. Bu algoritma için iki

parametre kullanılmaktadır: v mobil düğümlerin sayısını ve f ise iletim yapan düğümlerin sayısını belirtmektedir. İletim yapan grup düğümler grubun ve üyelerin coğrafi konumlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden bu aşamada ağ topolojisi ve ağ uzaklığı bilgileri bilinmemektedir. LGF ağ topolojisinde sürekli değişiklikler olsa bile ölçeklenebilir olması bakımından avantajlıdır. Büyük miktarda alıcı gruplar için çok fazla işlem yükü getireceğinden dolayı dezavantajı da bulunmaktadır [27].

2.18. Konum Güdümlü Ağaç Protokolü

Konum Güdümlü Ağaç Protokolü (Location Guided Tree Protocol - LGT), bant genişliği ve kontrol ek yükü gibi parametreleri göz önünde bulundurarak ağaç yapısı algoritması ile en iyi yolu bulabilmektedir. LGT kaynak tarafından başlatılan ve paylaşımlı ağaç yapısını kullanan bir protokoldür. Bu protokolda ağ topolojisi ve ağ uzaklıkları hesaplanmaktadır ayrıca düğümlerin uzak olması durumunda ağ atlama sayıları da hesaplanmaktadır. LGT yönlendirme protokolü v (mobil düğümleri sayısı) ve e (kablosuz bağlantılar) olmak üzere iki parametre kullanmaktadır. Grup düğümler sadece grup içerisindeki düğümler hakkında bilgilere sahiptirler. Bu yüzden ağ topolojisi ve ağ uzaklıkları grup içerisinde bulunan düğümler tarafından bilinmemektedir. Konum güdümlü k-ary (location-guided k-ary - LGK) ağacı ise en yakın komşu düğümleri arar ve düğümleri guruba dahil ederek paket gönderimi yapmaktadır. Bu sayede paket gönderimi için harcanan maliyet azalmış olmaktadır. Konum güdümlü Steiner (Location-Guided Steiner - LGS) ağaçta ise en yakın komşular aranır ve geometrik uzaklık dikkate alınarak en az atlama sayısı ile guruba dahil etmektedir. Sadece grup düğümleri ağaç düğümleri olarak kabul edilmektedir. Bu algoritma aynı zamanda bir önceki ağaç yapısı ile karşılaştırma yaparak en son yolu da bulabilmektedir. Bu algoritmalar global durum bilgisini elde eden sabit ağlar için elverişlidir. Dinamik ortamlarda bu algoritmalar yolları hesaplamak için kullanılmaktadır. Düşük bant genişliği kullanması düşük hareketlilik içeren ağlar için verimli olabilmektedir [28].

2.19. Düğüm Durumlu Yönlendirme Protokolü

Düğüm Durumlu Yönlendirme Protokolü (Node State Routing Protocol - NSR) proaktif (tabloya dayalı) bir protokol olup, düğümlerin IP adresleri, paket kuyruk boyutu ve batarya gücü gibi servis edilebilir bilgilerini düğümlerin tablolarında saklamaktadır. NSR yönlendirme protokolü düğümlerin anlık konumlarını, hızlarını ve hareket yönlerini elde etmek için GPS sistemine ihtiyaç duymaktadır. Bağlantı durumu yayılmasını önler ve böylece sadece hareket eden düğümlerin bilgisi güncellenmiş olur [29]. NSR protokolünün avantajları olmasına karşın birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi sağlam bir konum bilgisi elde edebilmek için GPS sistemine ihtiyaç duymasıdır. GPS sistemi bulunmayan cihazlar için kullanım alanı bulunmamaktadır. Düğüm durumu güncelleme mekanizması tabloya dayalıdır, bu da ağ içerisinde yüksek mesaj ek yükü getirmektedir.

2.20. Tahmini Konum Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü

Tahmini Konum Tabanlı QoS Yönlendirme Protokolü (Predictive Location-Based QoS Routing Protocol - PLBQR) konum tabanlı ve tahmin mekanizması içeren bir QoS yönlendirme protokolüdür [30]. Konum güncellemeleri kaynak düğüm ile ilgili bilgileri içermektedir. Ağda bulunan tüm düğümlerin bilgileri ve konum tahmin mekanizması QoS yönlendirme kararlarında birlikte kullanılmaktadır. MANET'lerde düğümlerin yüksek seviyede gezgin olmasından ve ağa istedikleri zaman giriş veya çıkış yapabilmelerinden dolayı ağ topolojisi ve kaynak kullanılabilirliği dinamik olarak değişim göstermektedir. Bu değişiklikler nedeniyle, mevcut ağ protokolleri tarafından kullanılan ağ topolojisi çok hızlı bir şekilde kullanılamaz hale gelebilmektedir. PLBQR'in avantajı bir düğümün önceki coğrafi konum değişimlerine göre yeni konumunu tahmin etme mekanizmasının bulunmasıdır.

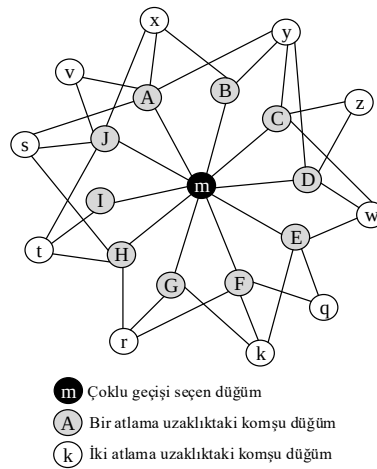
2.21. QoS  oklu Yayın Yönlendirme Protokolü

Dinamik Grup Toplojileri için QoS  oklu Yayın Yönlendirme Protokolü (QoS Multicast Routing Protocol For Dynamic Group Topology - QMRPD)  oklu QoS

kısıtlamaları kullanan çok noktaya yayın ağacı oluşturmanın yükünü azaltmak için çalışan hibrit bir protokoldür. QMRPD protokolünde grup üyeleri çok noktaya yayın oturumuna dinamik olarak giriş veya çıkış yapabilmektedir. Bu esnada çok noktaya ağaç yapısına herhangi bir zarar verilmemektedir. QMRPD bu ağacın genel maliyetini en aza indirmek için çalışmaktadır. Dinamik grup üyeliği daha az mesaj yükü ile bu protokol tarafından ele alınmıştır [31].

2.22. OLSR Kullanan QoS Yönlendirme Protokolü

OLSR (Optimized Link State Routing) kullanan QoS yönlendirme (QoS Routing Protocol Using OLSR - QOLSR) protokolü RFC3626 ile tanımlanan OLSR protokolüne ek olarak gecikme ve bant genişliği gibi kalite parametrelerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme sunmaktadır. QOLSR tabloya dayalı yönlendirme yapmakta ve minimum gecikmeye sahip yolu QOLSR1, QOLSR2 ve QOLSR3 ile bulmaktadır. QoS tabanlı OLSR protokolünün bu çeşitleri çoklu geçiş seçimi (Multipoint Relay Selection - MRS) için önerilmiştir. Şekil 2.13.'te bu seçimin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. QOLSR1 maksimum dereceye sahip olan komşu düğümü seçmektedir. Aynı dereceye sahip maksimum düğüm birden fazla ise, QOLSR2 tarafından en az gecikmeye sahip olan düğüm önceliklidir. Aynı gecikme değerine sahip düğüm içinse yüksek dereceli olan düğüm önceliklidir. QOLSR3 ise komşular arasından iki atlama uzaklığındaki en düşük gecikmeye sahip olan düğümü seçmektedir [32].



Şekil 2.13. Çoklu geçiş seçimi örneği

2.23. QoS AODV Protokolü

QoS AODV Protokolü (QoS for AODV Routing Protocol - QS-AODV) maksimum gecikme ve minimum bant genişliği gibi yeni alanların AODV protokolüne eklenmiş versiyonudur. QoS sağlanması için yol bulma işlemi sırasında bu yeni alanlar RREQ, RREP kontrol mesajlarına ve yönlendirme tablosuna eklenmektedir. Ek yapılmış yönlendirme tablosunda maksimum gecikme, minimum kullanılabilir bant genişliği, ayrıca kaynakların talep ettikleri gecikme ve bant genişliği garantisi bilgileri bulunmaktadır. QoS LOST olarak adlandırılan özel mesajlar, QoS parametreleri tarafından etkilenen tüm düğümlere gönderilmektedir. Bu düğümler QoS ek alanlarıyla RREP mesajı almış kaynak düğümlerdir. QoS-AODV paket teslim oranını, normalleştirilmiş ek yükü ve hareketlilikteki ortalama gecikmeyi garanti etmektedir. Fakat ortalama gecikme azaldığında yük çoğalmaktadır. Ek yükü kontrol altına almak için ek iyileştirmeler yapılmalıdır [33].

2.23.1. QS-AODV: yol kurulumu

QS-AODV’de yol girişi oluşturulurken hedef düğümün adresi yerine oturum ID’si temel alınmaktadır. Yol kurulumu aşamasında ilk olarak kaynak düğüm ihtiyaç duyduğu bant genişliğini RREQ mesaj paketine ek yaparak yönlendirme tablosunda bulunan komşularına göndermektedir. RREQ mesaj paketini alan her bir komşu öncelikle bant genişliği ihtiyacını karşılamıyorsa paket düşürülmektedir. Aksi takdirde yönlendirme tablosuna, tersine bir yol olacak şekilde paketin geldiği düğüm adresi ve oturum ID’si oluşturulur ve ardından RREQ paketi diğer komşulara gönderilir. Bu işlem hedef düğüme varılıncaya kadar devam etmektedir.

AODV protokolünde RREP mesajı hedef düğüm tarafından ya da hedef düğüme komşu olan ara düğüm tarafından oluşturulabilmektedir. QS-AODV protokolünde ise yalnızca hedef düğüm RREP mesaj paketi oluşturmaktadır. Çünkü kurulacak olan yol boyunca hedef düğüm dahil olacak şekilde bant genişliği ihtiyacı karşılanmak zorundadır. Hedef düğüme yeni bir RREQ mesajı ulaştığında bant genişliği ihtiyacı karşılanıyorsa bu oturum için tersine yol bilgisi yönlendirme tablosunda

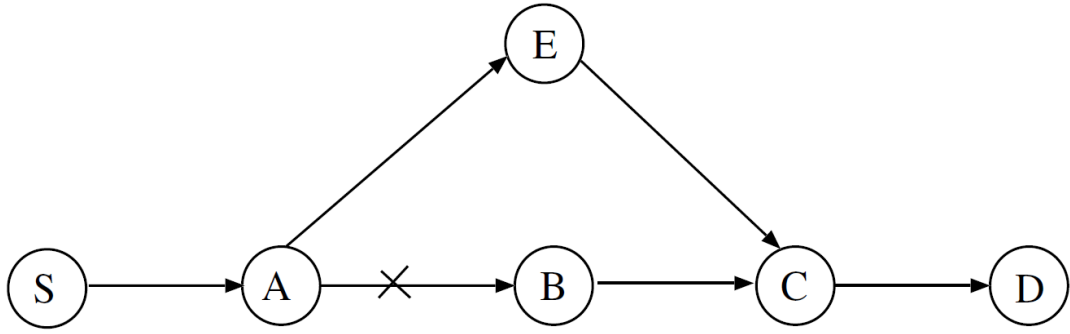
oluşturulmakta ve bant genişliği rezerve edilmektedir. Böylece RREP mesaj paketi tersine yolu takip edecek şekilde gönderilir. Hedef düğüm birden çok kez aynı RREQ mesaj paketi aldığında bu paketleri RREP mesaj paketlerinin başarılı olamama durumunu göz önünde bulundurarak tampon belleğinde saklamaktadır.

RREP mesaj paketini alan ara düğümler halen bant genişliği ihtiyacını karşılayabiliyorlarsa bant genişliğini rezerve ederek RREP mesaj paketini yol üzerindeki diğer komşusuna iletmektedir. Aksi takdirde RREP mesaj paketi düşürülür ve RREPFAIL bayrak alanı olan RERR mesaj paketi oluşturularak RREP mesajını aldığı komşu düğüme geri göndermektedir. RERR mesaj paketini alan her bir ara düğüm daha önceden rezerve ettiği bant genişliğini serbest bırakmakta ve yönlendirme tablosundaki ilgili oturum için yol girişini iptal etmektedir. Bu işlem RERR mesaj paketi RREP mesaj paketini oluşturan hedef düğüme varıncaya kadar devam etmektedir. Eğer hedef düğüm aynı oturum için başka bir RREQ mesaj paketi aldıysa bunun için yeni bir RREP mesaj paketi göndermektedir.

Bu yol kurulum mekanizması kullanılarak QS-AODV kaynak düğümün bant genişliği ihtiyacını karşılayabilecek bir QoS desteği sağlanmaktadır [33].

2.23.2. QS-AODV: yol onarımı

QS-AODV için bir diğer önemli husus yol onarımıdır. QoS desteği olan bir yolu kullanan uygulamalarda yolun kopması durumunda çok hızlı bir şekilde yeni yolun kurulması ve haberleşmenin devamının sağlanması oldukça önemlidir. QS-AODV bir sonraki düğümden bir kopma meydana geldiğinde yerel yol onarım işlemi başlatmaktadır. Bunun için kopmanın yaşandığı düğümden bir önceki düğüm, TTL değeri üç, oturum ID'si ve ihtiyaç duyulan bant genişliğini içeren bir RREQ mesaj paketini komşu düğümlere göndermektedir. Yol onarımı ile ilgili Şekil 2.14.'te bir örnek gösterilmektedir.

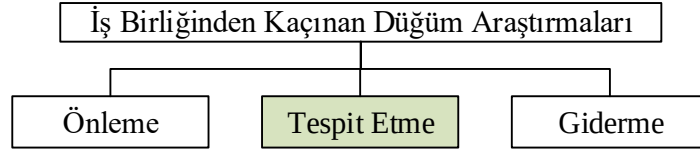


Şekil 2.14. QS-AODV yerel yol onarımı örneği

Şekil 2.14.’teki örnekte kaynak düğüm S ve Hedef düğüm D arasında QS-AODV tarafından kurulan yol S-A-B-C-D’dir. B düğümü hareket ederek A düğümünün kapsama alanı dışına çıkması nedeniyle A ve B düğümü arasındaki yolun koptuğu varsayılmaktadır. A düğümü yerel yol onarım mekanizmasını kullanarak C düğümüne ulaşabilmek için RREQ mesaj paketi yayınlamaktadır. E düğümü RREQ mesaj paketini aldığı anda ihtiyaç duyulan bant genişliğini karşılıyorsa A düğümüne ait tersine yol bilgisini oturum ID’si ile yönlendirme tablosuna kayıt ederek RREQ mesaj paketini C düğümüne iletmektedir. C düğümü yol bilgisi girişi halen geçerli ise RREP mesaj paketi oluşturarak E düğümüne gönderir. Burada C düğümünün bant genişliği rezervasyonunu daha önceden yapmış olduğu unutulmamalıdır. E düğümü RREP mesaj paketini aldığı anda bant genişliğini rezerve ederek A düğümüne paketi iletmektedir. Böylece yeni oluşturulan yol S-A-E-C-D yolu olmaktadır [33].

2.24. Güvenilir AODV Protokolü

MANET’lerde kullanılan yönlendirme protokollerinin genel performansı ağda bulunan düğümlerin birlikte çalışmalarıyla artmaktadır. Nitekim bazı düğümler bu iş birliğine katkı sağlamaktan kaçınmaktadır. Bu tür aksaklıkları önlemenin iyi bir ağ çıkışı ve QoS sağlanmasına önemli etkileri bulunmaktadır. Ağda bulunan düğümlerin iş birliğinden kaçınmalarını konu alan çalışmalar Şekil 2.15.’teki gibi önleme, tespit etme ve giderme olarak kategorize edilmiştir.



Şekil 2.15. İş birliğinden kaçınan düğüm araştırmaları

Güvenilir AODV (Reliable AODV Protocol - Reliable-AODV) protokolü MANET’lerde paketleri iletmeyi kabul eden fakat sonradan bu paketleri düşürerek iş birliğinden kaçınan düğümleri tespit eden ve bu tür düğümlerden korunan bir yaklaşım sunmaktadır. A. Perti ve P. Sharma’nın yaptıkları çalışma bencil (selfish) ve kötü niyetli (malicious) düğümleri kapsamaktadır.

Bencil düğümler, ağı kullanırlar fakat kendi iletişimlerinin devamını sağlamak ve batarya güçlerini korumak için paketleri iletmekte iş birliği yapmazlar.

Kötü niyetli düğümler ağda bulunan diğer düğümlerin iletişimini ve ağın genel işleyişini bozmaya çalışan düğümlerdir. Öncelikli hedefleri batarya güçlerini korumak değildir.

RAODV komşu düğümlerin davranışları hakkında bilgileri tutmak için her bir düğümde Tablo 2.3.’teki gibi düğüm değerlendirme tablosu oluşturulmaktadır. Bu tablodaki her bir girdi için düğüm adresi ve bu düğümün başarılı bir şekilde ilettiği veri paketi sayısı toplamı bulunmaktadır [34].

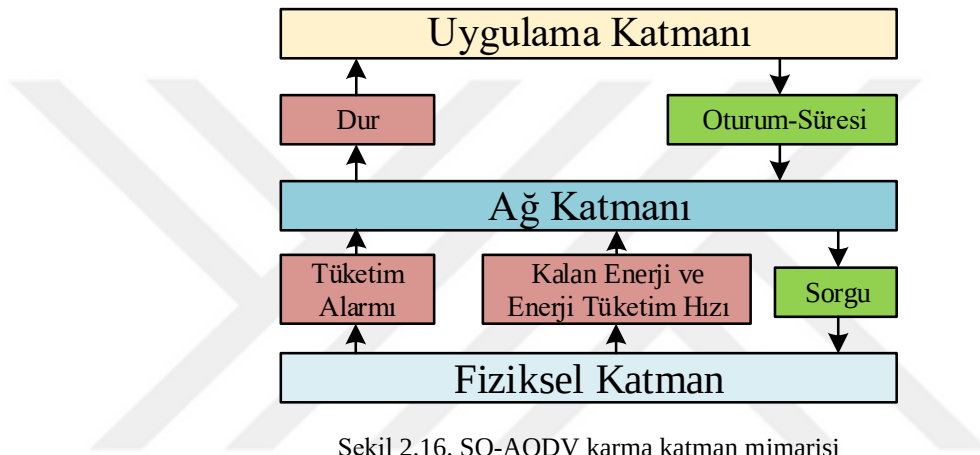
Tablo 2.3. Düğüm değerlendirme tablosu

Düğüm adresi	Başarılı şekilde ilettiği veri paketi sayısı
0	2
1	5

AODV’nin paket yönlendirme fonksiyonu değiştirilerek hatalı çalışan düğümler tespit edilmiştir. Komşu düğümler üzerinde dinleme yapabilmek için adres filtreleme yapılmıştır.

2.25. Enerji Duyarlı Kararlılık Tabanlı Yönlendirme Protokolü

Enerji Duyarlı Kararlılık Tabanlı Yönlendirme Protokolü (A Novel Energy-Aware Stability-Based Routing Protocol For Enhanced QoS in Wireless Ad-hoc Networks - SQ-AODV), Şekil 2.16.'da gösterildiği gibi karma katman mimarisini kullanmakta ve düğümün kalan enerjisini göz önünde bulundurarak yol seçimi ve yol onarımı yapmaktadır. Böylece hızlı bir şekilde ağ şartlarına uyum sağlayarak AODV protokolü üzerinde geliştirmeler yapmıştır.



Şekil 2.16. SQ-AODV karma katman mimarisi

Bu protokolü diğerlerinden ayırt eden en önemli özellik düğümler arasında ek iletişim veya iş birliği gerektirmeden sadece yerel bilgiyi kullanarak yol seçimi yapmasıdır. Böylece bağlantı kopmalarından önce paket kayıpları minimize edilmektedir [35].

2.25.1. SQ-AODV: yol kurulumu

SQ-AODV yol kurulumunda Tablo 2.4.'de gösterilen Algoritma_1 kullanılmaktadır [35].

Tablo 2.4. SQ-AODV yönlendirici seçimi algoritması

Algoritma_1: Yönlendirici olarak bir ara düğüm seçme	
1:	Ara düğüm tarafından bir yol kurulum istek paketi RREQ alınır.
2:	Eğer Oturum Süresi RREQ paketinde tanımlanmış ise
3:	Kontrol et
4:	Eğer (Mevcut Enerji > (Oturum-Süresi * AEDR)) ise
5:	RREQ Paketindeki Bottleneck life-time alanını güncelle
6:	Oturumu kabul et ve RREQ paketini komşulara ilet.
7:	Değilse
8:	Oturumu reddet ve RREQ paketini düşür.
9:	Eğer Sonu
10:	Değilse
11:	Eğer (Mevcut Enerji > Eşik Değeri_1) ise
12:	RREQ Paketindeki Bottleneck life-time alanını güncelle
13:	Oturumu kabul et ve RREQ paketini komşulara ilet.
14:	Değilse
15:	Oturumu reddet ve RREQ paketini düşür.
16:	Eğer Sonu
17:	Eğer Sonu

Talep edilen oturumdaki uygun ara düğümlerin seçilmesine yardımcı olmak için yapılan ilk değişiklik Algoritma_1’de ana hatlarıyla belirtilmiştir.

Hedef düğümle iletişim kurmak isteyen kaynak düğüm öncelikle uygulama katmanında veri paketlerini oluşturmakta ve ardından bunları ağ katmanına iletmektedir. Ağ katmanında, istenen hedef düğüme yol bulmaktan sorumlu yönlendirme protokolü bulunmaktadır. Eğer hedefe doğru bir yol yoksa, yol bulmak için prosedür başlatılmaktadır. Burada eğer oturum süresi biliniyorsa Şekil 2.16.’daki gibi uygulama katmanından doğrudan ağ katmanına bilgi sağladığı varsayılmaktadır. Aksi taktirde her bir ara düğüm sezgisel yöntemler kullanarak Eşik_1 değerinden daha az kalan enerjiye sahip oturumları kabul etmektedir. Kaynak düğüm hedefe doğru bir

yol bulunmadığında komşularına yol istek paketi (Route Request Packet – RREQ) yayınlamaktadır.

Bir RREQ paketi ara düğüme ulaştığında Algoritma 1 mevcut kalan enerji miktarını fiziksel katmanda sorgulamaktadır. Ortalama kalan enerji iletim süresi boyunca yeterli ise oturum kabul edilmektedir. Eğer oturum süresi bilinmiyorsa düğümün kalan enerjisi Eşik-1'den büyükse oturum kabul edilmektir. Ara düğüm RREQ mesaj paketini iletmenden önce paket içerisindeki darboğaz yaşam süresini güncellemektedir.

Eşik_1 ve Eşik_2, sırasıyla bir sonraki X ve Y saniye boyunca aktif olduğu bir düğümün kalan enerjisidir. Uygulamada $X = 5$ ve $Y = 1$ olarak kullanılmıştır.

Enerji tüketim oranı (energy drain rate - EDR), periyodik aralıklarla düğümün enerjisi E_n seviyesinde farkın, zaman aralıklarına bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$EDR(t_2) = \frac{E_n(t_1) - E_n(t_2)}{t_2 - t_1}$$

$E_n(t_1)$ ve $E_n(t_2)$ sırasıyla t_1 ve t_2 anındaki düğümün kalan enerjisini temsil etmektedir. EDR üstel ortalama ile yakın geçmişin oranını daha da arttıracak şekilde $\alpha = 0.5$ seçilerek ortalama enerji tüketim miktarı (average energy drain rate - AEDR) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$AEDR(t) = \alpha \times EDR(t) + (1 - \alpha) \times AEDR(t-1)$$

Son olarak, RREQ paketleri hedefe ulaştığında maksimum darboğaz kullanım ömrü olan paket ile yol seçilmektedir.

2.25.2. SQ-AODV: yol onarımı

SQ-AODV yol onarımında Tablo 2.5.'de gösterilen Algoritma_2 kullanılmaktadır [35].

Tablo 2.5. SQ-AODV yol onarımı algoritması

Algoritma_2: Düğüm N’de bir bağlantı kopması olmadan önce yol onarımı yapılması	
1:	Periyodik olarak EDR hesapla ve Mevcut Enerjiyi kontrol et.
2:	Eğer (Mevcut Enerji>Eşik Değeri_2) ise
3:	Kontrol et
4:	Eğer (N==I) ise
5:	N düğümünü yönlendirici olarak kullanan kaynaklara RCR paketi gönder.
6:	Eğer Sonu
7:	Eğer (N==D) ise
8:	Bu hedefle iletişim kuran tüm kaynaklara Stop-Traffic isteği gönderi gönder.
9:	Eğer Sonu
10:	Eğer Sonu

Yönlendirme protokolünün bir düğümün enerjisi tamamen boşaldığında meydana gelebilecek muhtemel bağlantı kopmasına hızlı bir şekilde uyum sağlamasına ikinci modifikasyon / özellik yardımcı olmaktadır. Algoritma_2’de kullanılan adımlar gösterilmektedir. Fiziksel katman sürekli olarak düğümün ortalama kalan enerjisini takip ettiğinden, düğüm enerjisi tükenmeden önce yani eşik_2’den daha az olduğunda ağ katmanına bir alarm göndermektedir. Yönlendirme protokolü, düğümün ara düğüm (I) veya hedef düğüm (D) olması durumuna göre farklı olarak işlemektedir. Eğer fiziksel katmandan enerji tüketimi ile ilgili alarmı alan düğüm ara düğüm ise, yol değiştirme isteğini (Route Change Request - RCR) bir atlama noktasındaki ve bu ara düğümü kullanan düğümlere göndermektedir. Kaynak düğüm (N) RCR paketini aldıktan sonra, oturum için yeni bir yol bulma prosedürü çalıştırmaktadır. Yüksek olasılıkla yol üzerinde muhtemel bir kopma yaşanmadan önce yeni bir yol bulunmaktadır. Böylece yol kopmaları ve gecikmelerden kaynaklanacak paket düşümleri azaltılmıştır. Ayrıca ağ değişikliğine hızlıca adapte olunması sağlanmıştır.

Eğer enerji tüketimi hedef düğümde meydana gelirse, kaynağa tüm trafik iletimini durdurması için istek gönderilmektedir. Talep kaynak düğüme ulaştığında uygulamaya bir durdurma sinyali göndererek verilerin daha fazla aktarılması önlenmektedir.

Böylece ağdaki paket düşme sayısını azaltmakta ve paket teslim oranını artırmaktadır ve aynı zamanda kullanılamayan hedeflere paket iletimini önleyerek kaynak kullanımını azaltmaktadır.

Eğer bir kaynak düğümün kendisinin enerjisi boşalmak üzereyse, artık iletemeyecek duruma gelinceye kadar veri iletmeye devam etmektedir.

2.26. MANET’ler için QoS Tabanlı AODV Protokolü

MANET’ler için QoS Tabanlı AODV Protokolü (Revised AODV Protocol with QoS for MANET - qAODV), bant genişliği ve gecikmeyi göz önünde bulundurarak AODV protokolünün performansını arttırmak için ek güncellemeler yapmaktadır. Bant genişliği ve gecikme metrikleri yol seçiminde kullanılmaktadır. Böylece uçtan uca gecikme azaltılmakta ve yüksek hareketlilik içeren ağlarda paket iletim oranı yükseltilmektedir [36].

2.26.1. qAODV: yol kurulumu

Bir düğüm hedefe yeni bir yol ihtiyacı duyduğunda yol keşif işlemlerini başlatmaktadır. İlk olarak düğüm, ihtiyaç duyduğu bant genişliğini hesaplamaktadır, ardından kendisiyle iletişimde bulunan komşu düğümlerin bant genişliklerini araştırmaktadır. Eğer bant genişliği ihtiyacı karşılanabiliyorsa RREQ mesajını komşu düğümlere iletmektedir. RREQ mesaj paketini alan ara düğüm de kendi bant genişliğini ve bağlı olduğu komşu düğümlerin bant genişliklerini kontrol ederek RREQ mesaj paketini iletir. Bu işlem hedef düğüme ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Eğer bant genişliği ihtiyacını karşılayabilen birden fazla düğüm bulunursa, bunlar arasından en az gecikme değerine sahip olan seçilmektedir. Hedef düğüme RREQ mesajı ulaştığında RREP mesajı ile tersine yol güzergahı üzerinden kaynak düğüme cevap gönderilmektedir. Ardından kaynak düğüm bir paket göndererek diğer uygulamalar tarafından kullanılmadığından emin olup bant genişliklerini rezerve etmektedir [36].

2.27. Geliştirilmiş AODV Protokolü

Geliştirilmiş AODV Protokolü (Enhanced AODV Routing Protocol - E-AODV) bağlantı kopma durumunda AODV'den farklı olarak seçimli yol bilgisi tamponlama mekanizmasını kullanarak yol onarımı gerçekleştirmektedir. Yol üzerindeki ara düğüm RREP mesaj paketi aldığı anda yönlendirme tablosuna kaynak ve hedef düğümler birlikte yol bilgisi girişi yapmaktadır. Yol keşfinde ise ara düğüm RREQ mesaj paketi aldığı anda eğer hedefe doğru güncel bir yol bilgisi yönlendirme tablosunda bulunuyorsa ve yönlendirme tablosundaki kaynak/hedef ikilisi ile aynı ise RREP mesajı ile cevap vermektedir. Aksi takdirde RREQ mesajını kapsama alanındaki komşu düğümlere iletmektedir [37].

2.27.1. E-AODV: yol kurulumu

Yol boyunca RREQ mesajını alan ara düğüm yönlendirme tablosuna RREQ mesaj paketini aldığı komşu düğüm için tersine yol bilgisini kaydetmektedir. Eğer RREQ mesaj paketinde bulunan hedef düğüm ve kaynak/hedef düğüm ikilisi, ara düğümün yönlendirme tablosundakiler ile eşleşiyorsa, RREQ mesajına cevap olarak RREP mesaj paketi oluşturulmaktadır. Aksi takdirde ara düğüm RREQ mesaj paketini komşu düğümlerine iletir. Hedef düğüm RREQ mesajını aldığı anda tersine yol bilgisini yönlendirme tablosuna kayıt etmekte ve RREP mesaj paketi oluşturmaktadır. Hedef tarafından verilen ilk cevaptan sonra aynı yayınID (BroadcastID) ve hedef adresi içeren bir başka RREQ mesajı aldığı anda, eğer bir önceki aldığı RREQ mesaj paketindeki atlama sayısından daha az ise RREQ mesajına cevap olarak RREP mesajı oluşturmaktadır [37].

2.28. Tasarsız Ağlarda Dağıtık Servis Kalitesi Araştırmalı Bilet Tabanlı Yönlendirme

Tasarsız Ağlarda Dağıtık Servis Kalitesi Araştırmalı Bilet Tabanlı Yönlendirme (Ticket-Based Probing Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks - TBR) ağ çıkışı ve gecikme kısıtlarını kullanarak yönlendirme ek yükünü

azaltmaktadır. Tekrar mesajları olmaksızın çok noktaya dağıtılmış şema sunmaktadır. TBR ağ topolojisinin sık sık değişmediğini varsaymaktadır ve sadece yumuşak tip QoS garantisi vermektedir [38].

2.29. Gezgin Tasarsız Ağlarda Tetiklemeli Dağıtık QoS Yönlendirme

Gezgin Tasarsız Ağlarda Tetiklemeli Dağıtık QoS Yönlendirme (Trigger-Based Distributed QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks - TDR) dinamik çok atlamalı mobil ortamlar için dağıtılmış QoS yönlendirme şeması sunmaktadır. En iyi yolu bulmak için birden fazla yol paralel olarak aranmaktadır. Düğümlerin ağa katılmaları, çıkmaları veya taşınmaları durumunda oluşacak bağlantı kopmalarını telafi edebilmek için hata toleransı teknikleri kullanmaktadır. Tüm ağ performansını yükseltebilmek için QoS gereksinimleri haricinde yolun optimum maliyeti de göz önünde bulundurulmaktadır [39].

2.30. Değerlendirme

Bu bölümde MANET'lerde QoS tabanlı yönlendirme protokolleri incelenmiş ve protokol avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Bölüm 3'te günümüze kadar geliştirilmiş birçok QoS tabanlı yönlendirme protokolleri arasından farklı yaklaşımlar vurgulanacak şekilde karşılaştırma yapılmıştır. Böylece bu alanda yapılan çalışmaların zorlukları, avantajlı veya eksik kalan yönleri gösterilmiştir.

Çalışmaya konu olan ve bu alanda gerçekleştirilebilecek yeni QoS tabanlı yönlendirme protokolü, ağdaki mobil cihaz hareketliliğinin etkilerini yönetebilen, daha az mesaj yükü oluşturan ve daha az enerji harcayarak yüksek ağ çıkışı ve verimlilik elde edebilen bir protokol olmalıdır. Böylece MANET'lerde daha iyi ve verimli yönlendirme yapılmış olacaktır.

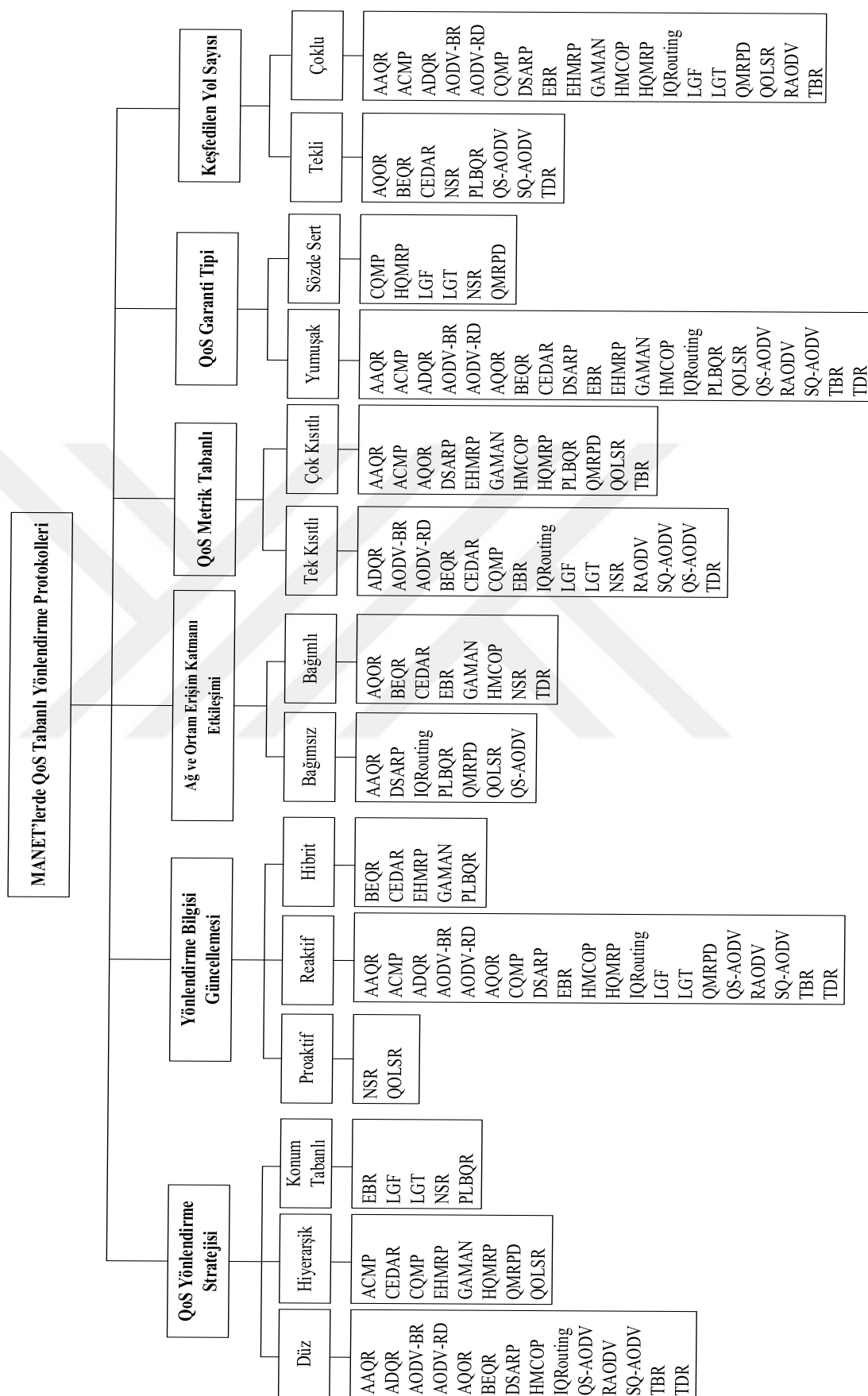
BÖLÜM 3. QoS TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

J.N. Al-Karaki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ağ topolojisine göre (Düz, Hiyerarşik ve Konum Tabanlı) ve yol keşfine göre (Proaktif, Reaktif ve Hibrit) olmak üzere QoS tabanlı yönlendirme protokollerini sınıflandırmışlardır [6]. Reddy ve arkadaşları ise ağ katmanı ve ortam erişim katmanı etkileşimli (Bağımsız ve Bağımlı) olmak üzere farklı kategoride sınıflandırmışlardır [7]. Diğer bir araştırmada ise G.Santhi ve A. Nachiappan, QoS metrik tabanlı (Tek Kısıtlı, Çok Kısıtlı) ve QoS garanti tipi (Yumuşak ve Söзде Sert) olmak üzere sınıflandırmışlardır [9]. Tez kapsamında yapılan karşılaştırma işleminde ise ayrıca keşfedilen yolların tekil veya çoğul olması durumu da göz önünde bulundurulmuştur.

QoS yönlendirme protokollerini daha iyi anlayabilmek için uygun sınıflandırma yöntemlerini kullanmak önemlidir. Bu yöntemler protokollerin farklı özelliklerini açıkça ortaya koymakta ve bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara yol göstermektedir.

Bu çalışmada, MANET'ler için QoS tabanlı yönlendirme protokollerine odaklanmaktadır. Benzer yaklaşımları içeren tipik araştırma protokollerini ve bu protokollerin farklılıkları değerlendirilmektedir.

Bölüm 2’de bahsedilen QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin 6 kategoriye ve 14 alt kategoriye ayrılarak sınıflandırılması Şekil 3.1.’de gösterilmektedir.



3.1. QoS Yönlendirme Stratejisi

QoS tabanlı yönlendirme protokolleri, hangi yolun mobil düğümler arasındaki veri iletişimi için en iyi olacağını değerlendirmek için kendi yönlendirme stratejisini kullanmaktadır. Bu stratejiler QoS performans kriterlerine, QoS yönlendirme kararının; dağıtılmış (her bir düğüm), merkezileştirilmiş (merkezi düğüm), hiyerarşik (çekirdek düğüm) veya kaynak (kaynak düğüm) gibi alındığı mekâna bağlı olarak değişmektedir.

Kablosuz ağlarda QoS protokollerini ayırt etmenin en popüler yöntemi, grup üyeleri arasındaki dağıtım yollarının nasıl inşa edildiği ve hiyerarşiden dolayı ağ üyeleri arasındaki etkileşimlerdir. Bu yöntem açısından mevcut QoS protokolleri düz, hiyerarşik ve konum duyarlı olarak sınıflandırılmaktadır. Yönlendirme protokollerinin çoğunda ağ kaynakları ve işlem gücü bakımından homojen özelliklere sahip mobil düğümlerin fiziksel olarak düz bir ağ mimarisi oluşturduğu varsayılmaktadır. Ancak pratikte, mobil düğümlerin farklı roller ve kapasiteleri olacağından bu varsayım geçerli olmayabilmektedir. Şekil 3.1.'de sol tarafta, yönlendirme stratejisine göre QoS yönlendirme protokolleri sınıflandırılmıştır. AAQR [11], ADQR [13], AODV-BR [14], AODV-RD [15], AQOR [16], BEQR [17], DSARP [20], HMCOP [24], IQRouting [26], QS-AODV [33], RAODV [34], SQ-AODV [35], TBR [38], TDR [39] protokolleri QoS yönlendirme stratejisine göre düz protokollerdendir.

Düğümler, kümeleme teknikleri kullanılarak ağda hiyerarşik bir düzende dağıtılabilmektedir. Hiyerarşi kullanılarak ağın ölçeklenebilirliği artırılmakta ve bazı düğümlere grup liderliği verilerek ağdaki mesaj yükü azaltılmaktadır. Ağ topolojisine göre, hiyerarşik kategori altında sınıflandırılan QoS yönlendirme protokolleri şunlardır: ACMP [12], CEDAR[18], CQMP [19], EHMRP [22], GAMAN[23], HQMRP [25], QMRPD [31], QOLSR [32].

Düğümler, ağdaki diğer düğümlerin konum bilgilerini elde etmek için konum duyarlı olabilmektedir. Diğer düğümlerin doğru konum bilgilerini sağlamak için en kullanışlı yöntem global konumlandırma sistemi (Global Positioning System - GPS), Bluetooth

ve diğer konum tanımlama araçları gibi cihazları kullanmaktır. Elde edilen konum bilgisi, yönlendirme yollarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu tür ağ topolojileri, konum duyarlı olan yönlendirme protokolleriyle sınıflandırılmaktadır ve EBR [21], LGF [27], LGT [28], NSR [29] ve PLBQR [30] bu protokollere örneklerdir.

3.2. Yönlendirme Bilgisi Güncellemesi

QoS tabanlı yönlendirme protokolleri, yönlendirme bilgisi güncelleme mekanizmasına göre proaktif (tabloya dayalı), reaktif (isteğe bağlı) ya da hibrit olmak üzere 3 kategoride sınıflandırılabilir.

Proaktif protokollerde her bir düğüm yönlendirme tablolarını birbirlerine göndererek yönlendirme işlemine yardımcı olmaktadır. Yönlendirme tabloları bir düğümden diğer düğümlere yol tayini için kullanıldığından düzenli olarak güncellenmelidir. Böylece kaynak düğüm ihtiyaç halinde paketin gideceği yolu tayin edebilmektedir. NSR [29] ve QOLSR [32] proaktif yönlendirme protokollerindendir.

Reaktif protokoller isteğe bağlı protokoller olarak da anılmaktadırlar. Reaktif protokoller ağ üzerinde herhangi bir veri trafiği olmadığında herhangi bir ağ topolojisi oluşturmaya ihtiyaç duymamaktadır. Yönlendirme tablolarında bulunan durum bilgileri istek anında elde edilmektedir. Proaktif yönlendirme ile karşılaştırıldıklarında daha az kontrol yükü olması reaktif protokol için önemli avantajdır. Dolayısıyla, istek üzerine yönlendirme yapan protokoller MANET’lerde tercih edilmektedir. Ayrıca bazı araştırmacılar reaktif yönlendirme protokollerinin MANET için daha uygun olduğunu düşünmektedir [40]. AAQR [11], ACMP [12], ADQR [13], AODV-BR [14], AODV-RD [15], AQOR [16], CQMP [19], DSARP [20], EBR [21], HMCOP [24], HQMRP [25], IQRouting [26], LGF [27], LGT [28], QMRPD [31], QS-AODV [33], RAODV [34], SQ-AODV [35], TBR [38], TDR [39] reaktif protokollerdendir.

Hibrit protokol ise adından da anlaşılacağı gibi proaktif ve reaktif stratejilerin bir arada kullanılmasından meydana gelmektedir. Böylece verimlilik ve dinamiklik elde

edilmektedir. BEQR [17], CEDAR [18], EHM RP [22], GAMAN [23] ve PLBQR [30] hibrit protokollerine örnektir.

3.3. Ağ Katmanı ve Ortam Erişim Katmanı Etkileşimi

QoS tabanlı yönlendirme protokolünün ağ katmanı ve ortam erişim katmanı etkileşimine göre bağımsız ve bağımlı olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Bağımsız QoS yönlendirme protokollerinde ağ katmanı QoS sağlanmasında ortam erişim katmanına bağımlı değildir. AAQR [11], DSARP [20], IQRouting [26], PLBQR [30], QMRPD [31], QOLSR [32] ve QS-AODV [33] bağımsız QoS yönlendirme protokollerindendir. Bağımsız QoS yönlendirme protokollerinde ise ağ katmanı QoS sağlanmasında ortam erişim katmanına bağımlıdır ve örtülü bir kaynak rezervasyonu yaparak QoS garantisi sağlamaktadır. AQOR [16], BEQR [17], CEDAR [18], EBR [21], GAMAN [23], HMCOP [24], NSR [29] ve TDR [39] bağımlı QoS yönlendirme protokollerindendir.

3.4. Tek Kısıtlı ve Çok Kısıtlı QoS Metrikleri

QoS tabanlı yönlendirme protokolleri, uygulama ihtiyaçlarını desteklemekte ve ağın yeterli kaynaklarla verimli bir şekilde kullanılması için en iyi veri iletişim yolunu seçmektedir. MANET’lerde bazı önemli QoS kısıtlamaları aşağıdaki gibidir:

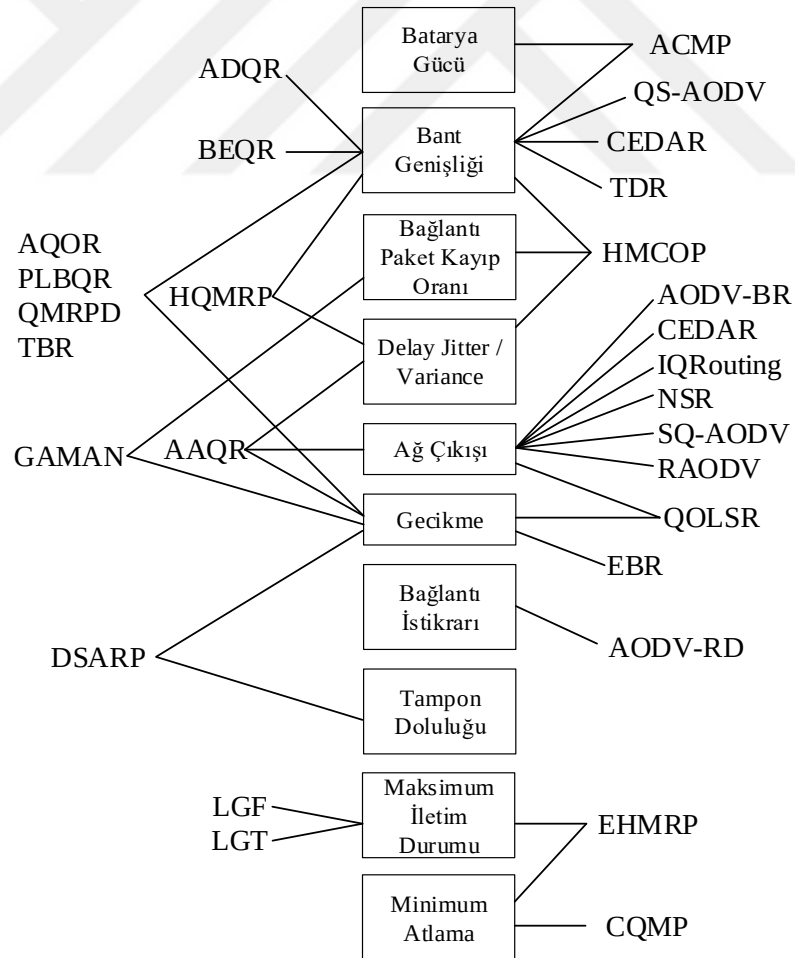
Batarya Gücü: MANET’lerdeki mobil iletişimin önemli bir faktörüdür. Mobil düğümler genellikle sınırlı enerji kaynağına sahiptir. Diğer düğümlerle iletişim kurmak için, bu düğümlerin her biri hem paketlerin alınması hem de iletilmesi için bir miktar enerji gerektirmektedir. Pil kullanımı, maksimum paket teslimini desteklemek için verimli kullanılmalıdır.

Bağlantı İstikrarı: istenen yere ulaşmak için herhangi bir bozulma olmadan veri sinyallerini garanti eden ve sinyalleri başarılı bir şekilde gönderen bir bağlantı durumudur. İletim sırasında sinyal zayıflığı, dış ortam faktörleri gibi paket kaybına neden olabilecek herhangi bir sorunu ortadan kaldırmak önemlidir.

Arabellek Dolgunluğu: Mobil düğümler çoğunlukla alınan paketleri saklamak için sınırlı bir arabellek arayüzüne sahiptir. Ağdaki uygulamaların bant genişliği gereksinimi yüksekse, düğümlerin arabellekleri dolabilmektedir. Bu durum düğümün arabelleğindeki paketlerin kaybedilmesine neden olmaktadır.

Maksimum İletme Durumu: MANET’lerde her bir düğüm trafiği iletebilen bir yönlendirici görevi de görmektedir. Maksimum iletme durumu, dağıtılmış ağ topolojileri ile azaltılabilmektedir.

Minimum Atlama Sayısı: MANET’lerde paket iletimi ara düğümler üzerinden atlama yaparak gerçekleştirilmektedir. Yönlendirme yükünü azaltmak için, bazı QoS tabanlı yönlendirme protokolleri minimum atlama ile bir QoS tabanlı yönlendirme yapmaktadır.



Şekil 3.2. Protokoller ve QoS metrikleri ilişkileri

Şekil 3.2.'de QoS metrikleri ve QoS tabanlı yönlendirme protokolleri arasındaki ilişkilerin şematik bir sunumu bulunmaktadır. Protokoller her bir QoS metriğine bir çizgi ile bağlanmıştır. Eğer bir protokol birden fazla QoS metriğine ihtiyaç duyuyorsa bu protokol birçok çizgi ile bağlantı yapılarak gösterilmiştir. Bir protokol iki metriği göz önüne alacak şekilde tasarlanmışsa, fakat bu metriklerden aynı anda sadece bir tanesini kullanıyorsa; bu protokol tek kısıtlı olarak ve iki kez temsil edilerek gösterilmiştir.

MANET'lerde QoS yönlendirme protokolleri, genel olarak tek kısıtlı veya çok kısıtlı olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.1.'in sağ tarafında bu sınıflandırma gösterilmiştir. Tek kısıtlı QoS yönlendirme protokolü kategorisi için ADQR [13], AODV-BR [14], AODV-RD [15], BEQR [17], CEDAR [18], CQMP [19], EBR [21], IQRouting [26], LGF [27], LGT [28], NSR [29], QS-AODV [33], RAODV [34], SQ-AODV [35], TDR [39] gibi protokoller bulunmaktadır.

MANET'lerde ağ çıkışı metriği çoğunlukla kullanılan QoS gereksinimi olarak kabul edilir. Bazı QoS tabanlı yönlendirme protokolleri, yalnızca ağ çıkışı gibi bir metriği göz önüne alıp verimli sonuçlar elde etmesine rağmen, her zaman tek kısıt kullanmak yüksek performans vermemektedir. Ayrıca tek kısıt kullanarak en iyi performansı elde etmek oldukça zordur. CEDAR [18], yönlendirme için yalnızca bant genişliği olarak tek QoS metriğini kullanmaktadır. Ancak, çoğu çoklu ortam uygulaması gecikme, bağlantı istikrarı, arabellek dolgunluğu, maliyet ve diğer QoS metrikleri gibi birçok QoS kısıtlamasını gerektirmektedir. Bu bağlamda günümüzde yapılan çalışmalarda tek kısıtlı metrik kullanımının yerine çok kısıtlı metriklerin kullanımına doğru bir eğilim bulunmaktadır. Çok kısıtlı yönlendirme protokolü tasarımı MANET'lerdeki hareketlilik nedeniyle ve aynı anda hem en iyi yolun bulunması hem de çok kısıtlı QoS metriklerinin sağlanması açısından oldukça zor olmaktadır. Çok kısıtlı QoS yönlendirme protokolü kategorisi için AAQR [11], ACMP [12], AQOR [16], DSARP [20], EHMRP [22], GAMAN [23], HMCOP [24], HQMRP [25], PLBQR [30], QMRPD [31], QOLSR [32] ve TBR [38] gibi protokoller bulunmaktadır.

3.5. QoS Garanti Tipi

QoS garanti tipine göre sözde sert ve yumuşak olarak iki ayrı sınıfta incelenmektedir. Şekil 3.1.'de sağ tarafta QoS garanti tipine göre yönlendirme protokolleri sınıflandırılmıştır.

Tüm oturum boyunca QoS gereksinimleri garanti edilemezse buna yumuşak QoS yaklaşımı denilmektedir. Protokollerin çoğu yumuşak QoS garantilerini desteklemektedir. AAQR [11], ACMP [12], ADQR [13], AODV-BR [14], AODV-RD [15], AQOR [16], BEQR [17], CEDAR [18], DSARP [20], EBR [21], EHMRP [22], GAMAN [23], HMCOP [24], IQRouting [26], PLBQR [30], QOLSR [32], QS-AODV [33], RAODV [34], SQ-AODV [35], TBR [38] ve TDR [39] yumuşak QoS protokollerine örnektir.

Bir bağlantı için oturumun tamamında QoS garanti ediliyorsa buna sözde sert QoS yaklaşımı denilmektedir. MANET'lerde sert QoS yaklaşımını sağlamak oldukça zordur. CQMP [19], HQMRP [25], LGF [27], LGT [28], NSR [29] ve QMRPD [31] sözde sert protokollere örnektir.

3.6. Keşfedilen Yol Sayısı

QoS tabanlı yönlendirme protokolleri keşfettikleri yol sayısına göre tekli ve çoklu olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Her zaman yedek bir QoS yolu bulundurmak yönlendirme protokolünü daha güvenilir ve güçlü yapmaktadır. MANET'lerde ağda bulunan düğümlerin hareketliliğine doğru orantılı olarak bağlantı kopmaları yükselmektedir. Bir bağlantının kalan ömrü, bağlantı kopmadan önce yolun mevcut veya güvenilir olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır [41]. Servis kalitesi, bağlantı ömrünü tahmin etmek için geliştirilen mekanizmalar tarafından desteklenmektedir. Bu mekanizmalar, bir bağlantı kopması meydana gelmeden alternatif yolları keşfedebilmekte veya saklamaktadır. MANET'lerde bant genişliği, güvenilirlik ve bağlantı kararlılığı gibi servis kalitesi gereksinimlerini göz önüne alarak iki düğüm arasında en iyi yolu bulmak ve kurmak oldukça zordur.

MANET’lerde QoS tabanlı yönlendirme protokolleri, keşfedilen yol sayısına göre tekli veya çoklu olmak üzere iki kısımda sınıflandırılabilir. Şekil 3.1.’de keşfedilen yol sayısına göre QoS yönlendirme protokolleri sınıflandırılmaktadır.

Tekli yol bulan QoS yönlendirme protokolleri AQOR [16], BEQR [17], CEDAR [18], NSR [29], PLBQR [30], QS-AODV [33], SQ-AODV [35] ve TDR [39]’dir.

İkincil veya daha çok yolun kaynak düğüm önbelleğinde saklanması tıkanıklığı önlemektedir. Komşu düğümler arasındaki güncel yük, tıkanıklığı hesaplamaya yardımcı olmaktadır [42]. Yönlendirme tablosunda aynı hedef için birden çok yolun depolanmasının avantajları yüksek güvenilirlik ve verimlilik ancak daha fazla işlem gücü ve sorgu paketi gerektirmektedir [2]. Çoklu yol bulan QoS yönlendirme protokolleri AAQR [11], ACMP [12], ADQR [13], AODV-BR [14], AODV-RD [15], CQMP [19], DSARP [20], EBR [21], EHRP [22], GAMAN [23], HMCOP [24], HQMRP [25], IQRouting [26], LGF [27], LGT [28], QMRPD [31], QOLSR [32], RAODV [34] ve TBR [38]’dir.

3.7. Protokol Karşılaştırması ve Değerlendirilmesi

QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin ayırtedici özellikleri Şekil 3.1.’de, QoS yönlendirme stratejileri, yönlendirme bilgileri güncelleme, ağ ve ortam erişim katmanı arasındaki etkileşim, QoS metrik tabanlı, QoS garanti türü, keşfedilen yol sayısı açısından özetlenmiştir. Şekil 3.1.’deki sınıflandırma kullanılarak MANET’ler için yeni QoS tabanlı yönlendirme protokolleri tasarla karakteristiklerine kolayca karar verilebilir.

Tablo 3.1.’de QoS yönlendirme stratejisine göre düz olan protokoller, Tablo 3.2.’de QoS yönlendirme stratejisine göre hiyerarşik olan protokoller ve Tablo 3.3.’te ise QoS yönlendirme stratejisine göre konum tabanlı olan protokollerin çeşitli özellikler bakımından karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 3.1. QoS yönlendirme stratejisine göre düz olan protokoller

Protokol	KYS	QoS Metrik	Yol Onarımı	HEY
AODV-BR	Çoklu	Ağ Çıkışı	Birincil yol bozulduğunda veri iletişimine devam etmek için tetiklenebilir alternatif yollar bulunmaktadır.	Y
AODV-RD	Çoklu	Bağlantı İstikrarı	Birincil yol kaybolduğunda; bağlantı kopması ve onarım mekanizması bulunmaktadır.	Y
QS-AODV	Tekli	Bantgenişliği	Kopan bir bağlantının akış yukarısında yol keşiflerini başlatmak için yerel onarım mekanizması vardır.	Y
RAODV	Tekli	Ağ Çıkışı	İşlevlerini yerine getirmekten kaçınan düğümleri tespit eder ve bunlardan sakınan bir yöntemi bulunmaktadır.	Y
SQ-AODV	Tekli	Ağ Çıkışı	Bağlantı kırılmadan önce başka bir uygun yol bulmak için bir mekanizma vardır.	O

KYS = Keşfedilen yol sayısı; HEY= Haberleşme Ek Yükü [Y = Yüksek; O = Orta; A = Az].

Tablo 3.1.'de, QoS yönlendirme stratejisi düz olan yönlendirme protokolleri dört kritere göre karşılaştırılmıştır. Keşfedilen Yol Sayısı, kaynaktan hedefe diğer düğümler aracılığıyla belirlenen yol sayısını belirtmektedir. QoS metriği; pil gücü, gecikme, verim, bağlantı istikrarı, bant genişliği vb. gibi hangi QoS ölçütlerinin dikkate alınacağını belirtmektedir. AODV'nin farklı sürümlerinin tekli QoS metriğine odaklandığı dikkati çekmektedir.

Herhangi bir bağlantı kopmadan önce kaynak ve hedef arasındaki bağlantıyı onarmak için bir yol onarım mekanizması kullanmak oldukça önemlidir. İletişim bağlantıları sıklıkla kırılabilir, çünkü MANET'lerde düğümler ağa her zaman katılabilir veya ayrılabilir, bu nedenle daima bir yedekleme yolu tutmak QoS yönlendirme protokolünü daha güvenilir ve güçlü yapacaktır. Daha verimli yönlendirme yapmak ve QoS performansını artırmak için alternatif yolların bulunması önemlidir.

MANET'lerde gerekli performansı elde etmek için düşük bir haberleşme ek yüküne sahip olmak tercih edilmelidir. Yol kurulumu veya yol bozulduğunda yol onarımı gerçekleştirilirken minimum haberleşme paketi kullanılması ağ performansına da olumlu katkılar sağlayabilmektedir.

Tablo 3.2. QoS yönlendirme stratejisine göre hiyerarşik olan protokoller

Protokol	KYS	YBG	QoS Metrik	Yol Onarımı	HEY
ACMP	Çoklu	Reaktif	Batarya Gücü, Bant Genişliği	Yerel yol onarımı bulunmaktadır.	A
CEDAR	Tekli	Hibrit	Bant Genişliği	Çekirdek düğümler yol onarımı yapmaktadır.	A
CQMP	Çoklu	Reaktif	Minimum Atlama	Alternatif yollar sağlamaktadır.	O
EHMRP	Çoklu	Hibrit	Maksimum İletme Durumu, Minimum Atlama	GPS kullanarak hareketlilik tahmini ile alternatif yollar sağlamaktadır.	O
GAMAN	Çoklu	Hibrit	Paket Kayıp Oranı, Gecikme	Yol onarımı için yeniden yönlendirme ve yol onarma teknikleri kullanmaktadır.	Y
HQMRP	Çoklu	Reaktif	Bant Genişliği, Gecikme	İstikrarsız yolları kaldırmakta ve istikrarlı yollar üzerinden haberleşmeyi devam ettirmektedir.	Y
QMRPD	Çoklu	Reaktif	Gecikme, Jitter, Paket Kaybı, Bant Genişliği	Herhangi bir uygun yol yoksa, yeni bir yol hesaplamaktadır.	A
QOLSR	Çoklu	Reaktif	Ağ Çıkışı, Gecikme	Ağ topolojisinin yalnızca kısmi bilgisini kullanarak en uygun en kısa yolları bulmaktadır.	A

KYS = Keşfedilen yol sayısı; YBG= Yönlendirme Bilgisi Güncelleme; HEY= Haberleşme Ek Yüğü [Y = Yüksek; O = Orta; A = Az].

Tablo 3.2.'de QoS yönlendirme stratejisi hiyerarşik olan yönlendirme protokolleri karşılaştırılmıştır. Ağdaki aygıtların çeşitliliğine bağlı olarak hiyerarşik yönlendirme stratejisini kullanmak önemlidir. MANET'lerin ağ topolojisi sıklıkla değişiklik gösterebilmektedir, dolayısıyla reaktif (isteğe bağlı) yaklaşım önemlidir. Hiyerarşik yönlendirme protokollerinde keşfedilen yol sayısı tekli veya çoklu olabilmektedir.

Düğümmler arasındaki iletişim sırasında dikkate alınan yol metrikleri tekil veya birden fazla olabilmektedir. Genel olarak birden fazla QoS metriği kullanılmıştır. CEDAR [18] QoS metriği olarak sadece tek bir bant genişliği kısıtlaması gözönünde bulundurularak geliştirilmiş ve iyi sonuçlar elde etmiştir. Fakat günümüzde araştırmacılar, çoklu ortam uygulamalarının QoS ihtiyaçlarını karşılamak için yeni çoklu QoS metrikleri kullanarak QoS yönlendirme protokolleri hazırlamalıdır. Yol

onarımı her protokolde farklıdır, ancak her biri herhangi bir bağlantı başarısızlığından önce alternatif yollar bulmaya çalışmaktadır.

Tablo 3.3. QoS yönlendirme stratejisine göre konum tabanlı olan protokoller

Protokol	KYS	AOEKE	QoS Garanti Tipi	QoS Metrik	Yol Onarımı	HEY
EBR	Çoklu	Bağımlı	Yumuşak	Gecikme	Entropi yardımıyla gecikme gereksinimini karşılayan uzun ömürlü yolu seçmektedir.	A
LGF	Çoklu	N/A	Sözde Sert	Maksimum İletim Durumu	Bir bağlantı bozulduktan sonra paketleri bölmekte ve farklı ara düğümlere iletmektedir.	Y
LGT	Çoklu	N/A	Sözde Sert	Maksimum İletim Durumu	N/A	A
NSR	Tekli	Bağımlı	Sözde Sert	Ağ Çıkışı	N/A	Y
PLBQR	Tekli	Bağımsız	Yumuşak	Bant Genişliği, Gecikme	Gelecekte düğümün yerini tahmin edebilmektedir.	A

KYS = Keşfedilen yol sayısı; AOEKE = Ağ ve Ortam Erişim Katmanı Etkileşimi; HEY= Haberleşme Ek Yüğü [Y = Yüksek; O = Orta; A = Az], N/A=Not Available.

Tablo 3.3.'te QoS yönlendirme stratejisi konum tabanlı olan yönlendirme protokolleri karşılaştırılmıştır.

Ağ katmanı ve ortam erişim katmanı etkileşimine bağımlı protokoller QoS performansı için diğerlerinden daha uygundur.

Yüksek hareketliliğe sahip topolojilerde, yönlendirme gerçekleştirirken çapraz katman mimarileri ve çoklu QoS metrikleri kullanmak daha etkilidir [43].

Sözde sert QoS garantisi elde etmek oldukça zordur. Buna rağmen, sağlam bir QoS yönlendirme protokolü, veri aktarımı sırasında sürekli olarak ihtiyaçları sağlamalıdır.

3.8. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, MANET’lerde QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin göze çarpan yönleri ele alınmıştır. Bu alandaki önemli ilerlemeleri kapsayan birçok farklı yaklaşım seçilmiştir. Her protokol karakteristik özellikleriyle sınıflandırılmıştır. Protokoller QoS yönlendirme stratejisi, yönlendirme bilgi güncelleme mekanizması, ağ ve ortam erişim katmanı arasındaki etkileşim, QoS metrikleri, QoS garanti türü ve keşfedilen yol sayısı açısından sınıflandırılmıştır.

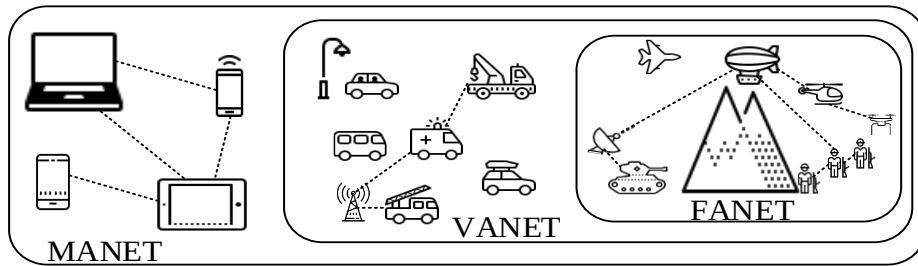
MANET’lerin gelecek iletişim ağlarında daha çok yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Birçok araştırmacı, literatürdeki bazı önemli QoS tabanlı yönlendirme protokolü sorunlarını ve zorluklarını incelemişlerdir. Bununla birlikte, MANET’ler için QoS tabanlı yönlendirme protokolünde daha fazla araştırma gerektirecek alanlar bulunmaktadır. Ayrıca, bu kapsamlı genel bakıştaki çalışmanın amacı, bant genişliği, pil gücü, bağlantı istikrarı, gecikme gibi QoS metriklerini dikkate alan QEAODV yönlendirme protokolünü geliştirmektir.

Bölüm 3.’te verilen tablolar ve karşılaştırmalar sonucunda MANET’ler için QoS tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü; QoS yönlendirme stratejisine göre konum tabanlı, yönlendirme bilgisi güncellemesine göre reaktif, bir çok QoS kısıtını aynı anda karşılayabilen ve çoklu yollar keşfedebilen bir protokol tasarımı ihtiyacı duyulmaktadır. Ayrıca MANET’lerde düğümlerin enerji seviyelerini, kapsama alanlarını, hızlarını ve konumlarını dikkate alan çalışmalar QoS sağlanmasında önemli etkilere sahip olabileceklerdir.

BÖLÜM 4. QEAODV PROTOKOLÜ TASARIM VE SİMÜLASYONU

MANET’lerde servis kalitesini garanti edebilecek bir yönlendirme protokolü geliştirmek; ağda bulunan düğümlerin rastgele hareket etmesi ve bu düğümlerin genellikle sınırlı enerji, hesaplama, depolama kaynakları bulunması nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle kaynak düğümden hedef düğüme gönderilmek istenen paketler için en verimli yolun bulunması ve ayrıca bağlantı kopması durumunda yedek yollara hızlıca ulaşılarak veri iletişiminin sağlanması için geleneksel AODV yönlendirme protokolünün QoS desteği ile geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla, MANET’lerde video haberleşmesine yönelik ve karma katman mimarisini göz önünde bulundurarak video dizisindeki çerçevelerin önceliğine göre QoS tabanlı yönlendirme yapması planlanan protokolde AODV’ye benzer bir alt yapı kullanılmıştır.

Kablosuz tasarsız ağlar herhangi bir altyapıya ihtiyaç duymamaktadır. Ağda bulunan her bir düğüm veri alışverişi yapabilmenin yanı sıra yönlendirme işlemi de gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle birbirlerinin kapsama alanı içerisinde bulunmayan düğümler, ara düğümlerin yardımlaşması ve yönlendirme mekanizmalarının iş birliği içerisinde kullanılması ile iletişime geçebilmektedir.



Şekil 4.1. MANET kullanım alanları

Günümüzde mobil cihazların yaygınlaşması ve arada herhangi bir baz istasyonu veya alt yapı ihtiyacı olmaksızın düğümler arası haberleşme ihtiyacının olması MANET’leri

önemli kılınmaktadır. Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi kişisel ağlarda kullanılabileceği gibi askeri operasyonlarda, acil arama kurtarma operasyonlarında, akıllı arabalarda veya insansız hava araçlarında da MANET ağı tercih edilmektedir.

MANET'lerde birden fazla düğüm iş birliği içerisinde hareket ederek ağ bağlantılarının kurulmasını ve devam ettirilmesini sağlamaktadır. Ağda bulunan mobil cihazlar enerji bakımından zayıf olduklarından, enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlayan yönlendirme protokolleri ağ performansını olumlu yönde arttırabilmektedir.

4.1. QEAODV Protokolü ve Modelin Tanımlanması

Yönlendirme algoritmasındaki temel prensip, ağda bulunan her bir düğümün iş birliğine katkı sağladıkları ve enerji seviyeleri azaldığını veya şarj edilip çoğaldığını doğru bir şekilde beyan ettikleri varsayılmaktadır. Geliştirilen servis kalitesi (QoS) tabanlı yönlendirme protokolü tasarsız isteğe bağlı uzaklık vektörü protokolü (Adhoc On-Demand Distance Vector - AODV)'nin üzerine inşa edilmiştir. Bu yüzden ismi servis kalitesi genişletilmiş AODV (Quality of Service Extended AODV - QEAODV) olarak ifade edilmektedir.

QEAODV protokolü, veri iletişiminin sağlanacağı yol üzerindeki düğümlere öncelikle isteği yapan düğüm tarafından bir yol istek (QoS Extended Route Request - QERREQ) mesajı yayınlamaktadır. Mesaj paketinin içerisinde uygulama katmanından elde edilen ve veri iletişimi için ne kadar süre transfer yapılacağı bilgisi alınmaktadır. Bu süre ile ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarı hesaplanmakta ve QERREQ paketi içerisinde ilgili alana yazılmaktadır. Bunun yanı sıra düğümün x, y koordinatı, hareket halindeyse hedef x, y koordinatı ve minimum gerekli bağlantı yaşam süresi QERREQ paketine kaydedilmektedir. QERREQ mesaj paketini alan komşu düğümlerin her biri enerji seviyelerini paket içeriğindeki ile karşılaştırmaktadır. Eğer ihtiyaç duyulan enerji miktarı şartı karşılanıyorsa ve hedef düğüm ise yol yanıtı (QoS Extended Route Reply - QERREP) mesaj paketine kendi enerji miktarını da yazarak göndericiye geri iade etmektedir. Aksi takdirde paket içerisindeki kaynak düğümün

konumunu, varış konumunu, hızını alarak kendi parametrelerini de kullanarak bağlantı yaşam süresi hesaplanmaktadır. Hesaplanan süre ile paket içerisindeki minimum gerekli bağlantı yaşam süresi karşılaştırılmaktadır. Bağlantının kopmayacağı garanti edildiği takdirde işlemler devam etmektedir. Aksi halde QERREQ paketi QoS gereksinimlerini karşılayamadığından düşürülmektedir. Böylelikle ağda bulunan düğümler arasından minimum gerekli enerji seviyesini karşılayan ve kapsama alanı içerisinde belirli bir süre boyunca stabil olarak kalabilen düğümler yol kurulumunda görev almaktadır.

Eğer QERREQ mesaj paketini alan düğüm, hedef kendisi değil ise ve hedefe doğru bir yol barındırmıyorsa yol istek mesajı hazırlamaktadır. QERREQ mesaj paketindeki anlık x, y konumunu, düğüm hareket halindeyse hedef x, y konumunu, hızını, kapsama alanı bilgilerini paket içerisinde güncelleyerek ve atlama noktası sayısını bir artırarak komşu düğümlerine yayınlamaktadır. QERREQ mesajını alan düğümler arasından bu mesajı kendisi yayınladığı için veya aynı mesaj paketini tekrar alan düğümler paketi işlemeden düşürmektedir. Son olarak ara düğümden yönlendirilen QERREQ mesaj paketi hedef düğüm tarafından alınır. Hedefe ulaşan QERREQ mesaj paketine karşılık olarak hedef düğüm tarafından bir QERREPLY mesaj paketi oluşturulur ve bu paket kaynak düğüme ulaştırılmaktadır. Kaynak düğüm QERREPLY mesaj paketini aldığı anda yol kurulum işlemi gerçekleştirilmekte ve veri transferi başlatılmaktadır.

4.1.1. QEAODV algoritması

QEAODV genel olarak AODV'nin yapısı üzerine inşa edilmiştir. Yönlendirme işlemi genel olarak QoS genişletilmiş; yol isteği QERREQ, yol istek cevabı QERREP, yol hatası QERERR gibi mesaj paketlerini içermektedir. Kaynak düğümden hedef düğüme veri paketleri gönderilmesi ihtiyacı olduğunda QERREQ mesajı oluşturularak kapsama alanı içerisindeki komşu düğümlere yayınlanmaktadır.

QoS genişletilmiş yol istek mesajının QERREQ yayınlanması ile ilgili akış şeması Tablo 4.1.'de verilmiştir. Akış şemasındaki ağ topolojisinde üç adet kablosuz mobil

düğüm olduğu varsayılmıştır. Bunlar sırasıyla M_s kaynak düğüm, M_i : ara düğüm, M_d : hedef düğümlerdir.

Tablo 4.1. QoS genişletilmiş yol istek mesajının QERREQ yayınlanması

1:	$\{ M : \text{Kablosuz mobil düğümler}, M_s : \text{Kaynak düğüm}, M_i : \text{Ara Düğüm}, M_d : \text{Hedef düğüm} \}$
2:	$M = \{M_s, M_i, M_d\}$
3:	M_s CBR paketlerini M_d 'ye göndermek istiyor.
4:	M_s : Kaynak düğümün yönlendirme tablosu kontrol edilmektedir. Eğer M_d hedef düğüme ait güncel bir yol bilgisi yönlendirme tablosunda bulunuyor ise Veri paketlerini M_d hedef düğüme göndermeye başla. Değilse M_s QoS genişletilmiş yol istek mesajı oluşturarak tüm komşu düğümlere gönderir.
5:	Ara düğüm M_i QERREQ mesajını alır. Prosedür M_i : QERREQ mesajını al. M_i QERREQ mesajının içeriğini oku. Eğer M_i kendi oluşturduğu istek paketi ise paketi düşür. Eğer M_i daha önceden aynı QERREQ mesajını M_s düğümünden aldı ise paketi düşür. Eğer M_i düğümünün anlık enerjisi; minimum gerekli enerjiden daha az ise paketi düşür. Gerekli bağlantı yaşam süresi, konum, hedef konum, hız ve kapsama alanı bilgilerini QERREQ mesaj paketinden al. M_i 'nin konumu, hedef konumu, hızı ve kapsama alanı bilgilerini anlık olarak al. Eğer Sonu Eğer M_s ve M_i arasındaki bağlantı yaşam süresi; minimum gerekli bağlantı yaşam süresinden az ise paketi düşür. Eğer paketi aldığı M_s düğüme doğru tersine yol bilgisi M_i 'nin yönlendirme tablosunda yok ise tersine yol bilgisini ekle. Eğer eklenen tersine yol M_s istikametine gönderilebilecek kuyrukta bekleyen veri paketleri bulunuyor ise tüm paketleri sırasıyla M_s düğüme gönder. Eğer M_i hedef düğüm ise M_i QoS genişletilmiş yol istek cevabı QERREP gönder. Değilse M_i yol isteğine cevap veremiyor M_i aldığı QERREQ mesajını kapsama alanındaki komşu düğümlere yönlendirir. Eğer Sonu Prosedür Sonu

Yol istek mesajı hedef düğüm tarafından alındığında, yol isteğine cevap olarak bir yol istek cevap QERREP mesaj paketi oluşturularak kaynak düğüme doğru gönderilmektedir. Bu işlemin adımları Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. QoS genişletilmiş yol istek cevabı QERREP alınması

1:	Son adımda, QERREQ mesaj paketi hedef düğüm M_d tarafından alınır, yol isteğine cevap olarak QERREP mesajı gönderilir.
2:	Ara düğüm M_i tarafından QERREP mesajı alınır.

Prosedür M_i : QERREP mesajını al

Eğer M_i mesajı aldığı M_d düğümü yönlendirme tablosunda yok ise

M_i tersine yol olarak M_d 'yi yönlendirme tablosuna ekle

Eğer M_d yönüne gönderilebilecek kuyrukta bekleyen veri paketleri bulunuyor ise

M_d yönüne bekleyen veri paketlerini gönder.

Eğer Sonu

Eğer $M_i = M_s$ QERREP mesajındaki kaynak düğüm $M_i = M_s$ ise

Kaynak düğüm M_s 'den, hedef düğüm M_d 'ye veri paketlerini göndermeye başla.

Eğer Değilse M_i kaynak düğüm değil fakat kaynağa doğru yola sahip ise

QERREP mesajını yönlendir.

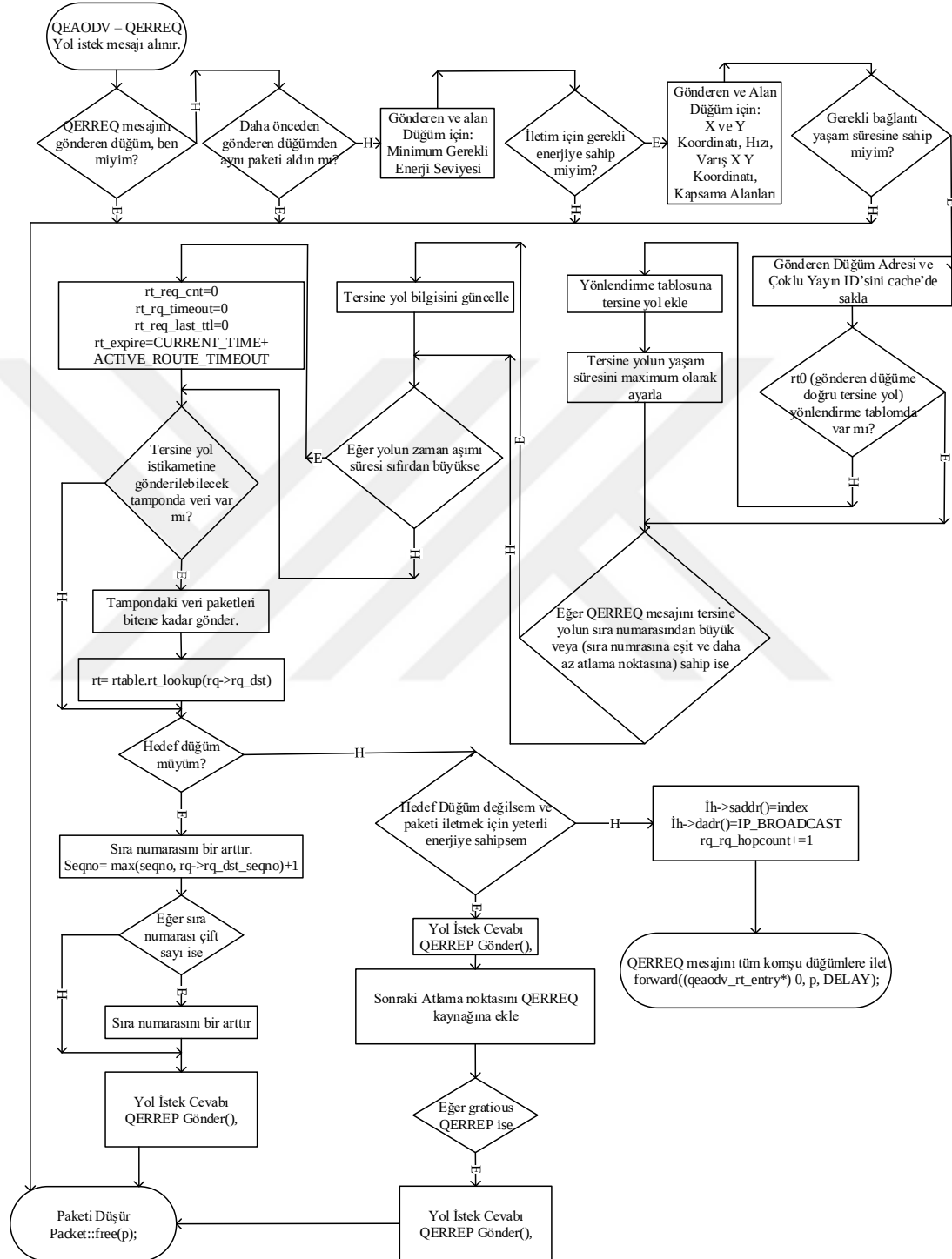
Değilse

M_i nasıl yönlendireceğini bilmiyor, QERREP mesajı paketini düşür.

Prosedür Sonu

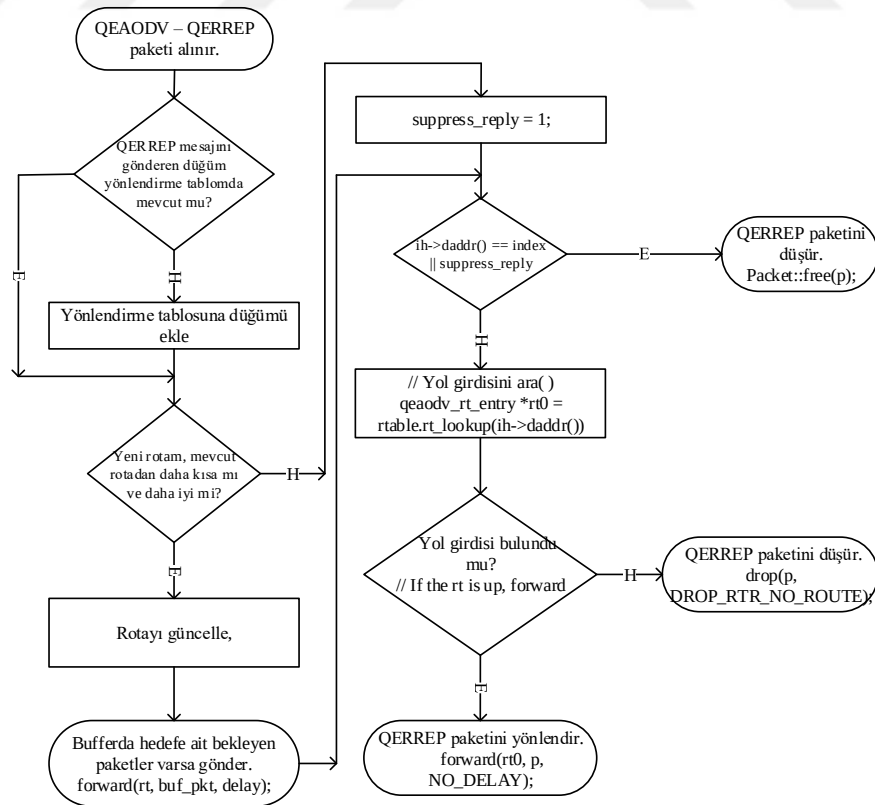
Hedef düğüm tarafından yol istek mesajına cevap olarak QERREP mesajı oluşturularak tersine yol istikametindeki düğüme gönderilir. Mesajı alan ara düğüm öncelikle yönlendirme tablosunu kontrol etmektedir. Eğer yönlendirme tablosunda hedef düğüm yok ise, bu düğüme ait tersine yol bilgisi eklenmektedir. Ayrıca bu hedefe gönderilmek üzere kuyrukta bekleyen veri paketleri bulunuyorsa, bu paketler sırasıyla gönderilmeye başlanır. QERREP mesajını alan düğüm hedef düğüm değilse ve hedefe ait güncel bir yol barındırıyorsa QERREP mesajını yönlendirmektedir. Aksi taktirde QERREP mesaj paketi düşürülmektedir. QERREP mesajı son olarak hedef düğüme vardığında yol kurulum işlemi tamamlanmış olmaktadır.

QEAODV yol istek paketi QERREQ alınması ile ilgili akış diyagramı Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. QERREQ paketi alımı akış diyagramı

Yol istek paketini alan düğüm öncelikle kendi oluşturduğu bir istek paketini tekrar duymadığını kontrol etmektedir. Ardından daha önce istek paketini gönderen düğümünden aynı mesajı tekrar duymadığını kontrol etmektedir. Yapılan kontroller sonucunda bir sonraki aşamaya geçilmektedir aksi taktirde QERREQ mesajı düşürülmektedir. QERREQ mesaj paketi içerisinde yer alan minimum gerekli enerji seviyesi alanı okunur ve mesajı alan düğüm tarafından kendi enerji miktarı anlık olarak elde edilerek karşılaştırma yapılmaktadır. Eğer gerekli minimum enerji miktarı karşılanabiliyorsa bir sonraki aşamaya geçilir, karşılanamıyorsa paket düşürülmektedir. QERREQ paketi içerisinde bulunan ve mesajı gönderen düğümüne ait olan anlık x, y konumu, hızı, hedef x, y konumu, kapsama alanı ve gerekli bağlantı yaşam süresi okunmaktadır. Mesajı alan düğüm de aynı şekilde kendi parametrelerini elde etmektedir. Ardından tüm parametreler kullanılarak iki düğüm arasındaki bağlantı yaşam süresi hesaplanmaktadır. QERREQ mesajı içerisinde bulunan gerekli minimum bağlantı yaşam süresi alanı ile hesaplanan bu değer kontrol edilir. Kontrol sonucu olumlu ise bir sonraki aşamaya geçilir, olumsuz olması durumunda QERREQ mesajı düşürülmektedir.



Şekil 4.3. QERREP paketi alımı akış diyagramı

QEAODV yol istek cevabının QERREP alınması ile ilgili akış diyagramı Şekil 4.3.'te verilmiştir.

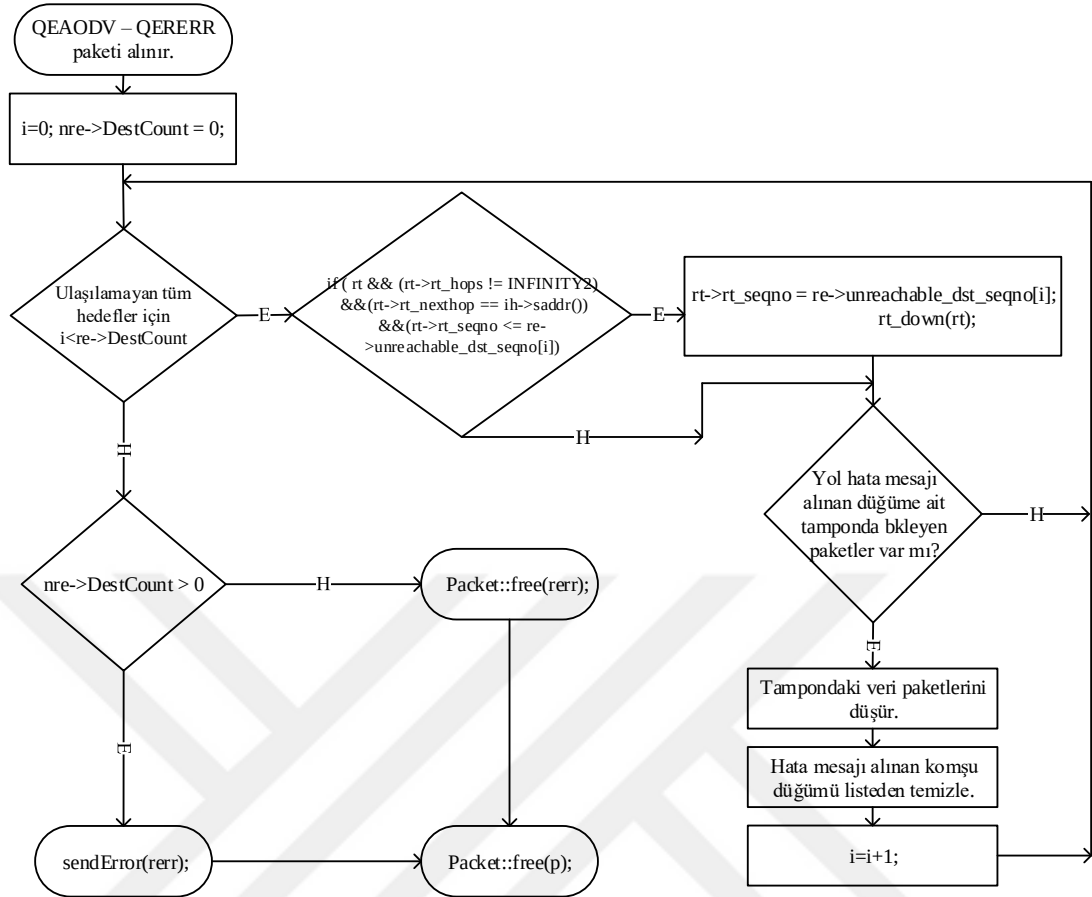
Yol istek paketinin alındığı düğüm yönüne yönlendirme tablosunda bir yol mevcut değilse tersine yol eklenmektedir ve bu hedefe ait tamponda bekletilen veri paketleri varsa bitene kadar hedefe gönderilmeye başlanmaktadır. Eğer mesajı alan düğüm yol istek cevabının hedefi ise QERREQ mesajını oluşturan kaynak düğüm yönüne QERREP yol cevabı gönderilmektedir. Eğer hedef düğüm değilse ve hedefe ait bir yol yönlendirme tablosunda bulunmuyorsa QERREQ yol istek mesajı tüm komşu düğümlere yönlendirilmektedir.

Aynı şekilde mesajı alan düğüm hedef düğüm değilse fakat hedefe ait bir yol barındırıyorsa yol isteğine QERREP ile cevap verilmektedir.

QERREP yol istek cevabı alan düğüm öncelikle yönlendirme tablosunda mesajı gönderen düğümü aramaktadır. Eğer düğüme ait kayıt yoksa, yönlendirme tablosuna kayıt eklenir. Yeni eklenen veya daha önceden var olan rota ile QERREP mesajının alındığı düğüme ait yol bilgisi karşılaştırılır. Mevcut rotadan atlama sayısı daha uzun veya daha eski rota olduğu takdirde mesaj tekrarı oluşmaması için cevap bastırma alanı bir olarak işaretlenir.

Mevcut rotadan atlama sayısı daha kısa veya daha yeni rota ise yönlendirme tablosundaki yol bilgisi yenisi ile güncellenmektedir. Mesajı alan düğümün tamponunda bu yol üzerinden gönderilmek için bekleyen veriler bulunuyorsa, veriler sırasıyla gönderilmeye başlanmaktadır. Eğer mesajı alan düğüm hedef ise veya cevap bastırma alanı bir ise QERREP mesajı düşürülmektedir. Son olarak hedefe ait yol biliniyorsa QERREP mesajı yönlendirilir ya da düşürülmektedir.

QEAODV yol hata mesajı alınması ile ilgili akış diyagramı Şekil 4.4.'deki gibidir.

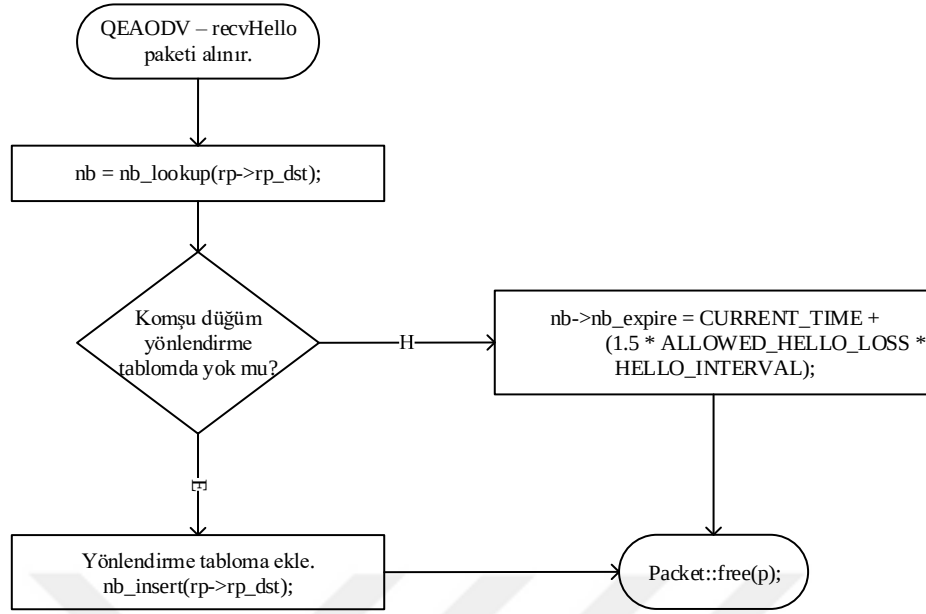


Şekil 4.4. QERERR paketi alımı akış diyagramı

QEAODV protokolünün kullandığı bir diğer mesaj türü de QERERR yol hata mesajıdır. Bu mesaj paketi ağdaki düğümler arasında bağlantı kopması durumunda komşu düğümlere gönderilmektedir.

QERERR mesajının amacı sistemdeki artık aktif olmayan ve yaşam süresi dolmuş yolları yönlendirme tablolarından temizlemektir. Şekil 4.4.'te görüldüğü üzere, düğüm iletişim bağlantısının kopması durumunda QERERR mesajı almaktadır. Mesaj paketinin içeriğinde bir veya daha fazla ulaşılamayan düğüm bulunabilmektedir. Her bir ulaşılamayan düğüm için yönlendirme tablolarından yol bilgileri silinerek güncellenmektedir. Silinen düğüme doğru tamponda bekleyen veri paketleri bulunuyorsa, bu paketler düşürülmektedir.

QEAODV hello mesaj paketinin alınması ile ilgili akış diyagramı Şekil 4.5.'teki gibidir.



Şekil 4.5. QEHELLO paketi alımı akış diyagramı

QEAODV protokolü bağlantı durumlarını sürekli olarak kontrol edebilmek için HELLO mesajlarını kullanmaktadır. Eğer komşu düğümden uzun süre bilgi alınamazsa veya belirli bir HELLO zaman aralığı içerisinde bilgi alınamazsa, bu düğümün ulaşılamaz olduğu varsayılmakta ve bu düğüm yönlendirme tablosundan silinerek, diğer komşu düğümlere QERERR mesajı yayınlanmaktadır. Şekil 4.5.'te ise QEAODV bir düğümden HELLO mesajı alındığında işleyen akış diyagramı gösterilmektedir. Öncelikle mesajın alındığı düğüm yönlendirme tablosunda aranmaktadır. Eğer yönlendirme tablosunda yol bilgisi mevcut değilse eklenmektedir. Aksi taktirde yönlendirme tablosunda mevcut olan yol bilgisinin zaman aşımı güncellenmektedir.

4.1.2. QEAODV enerji seviyesi kontrolü

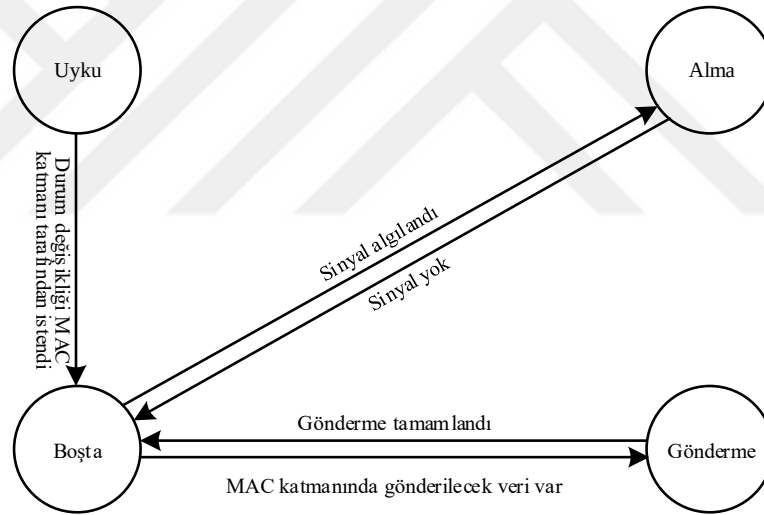
Bir iletkenin birim zamanda yaydığı elektriksel enerjiye o iletkenin gücü (Power) denir. Güç (watt), enerjinin (Joule), zamana (saniye) bölünmesiyle elde edilmektedir.

Buna göre, elektriksel güç;

$$Güç_{watt} = \frac{Elektriksel\ Enerji_{Joule}}{Zaman_{Saniye}} \rightarrow P(w) = \frac{E(j)}{t(s)} \quad (4.1)$$

dır. (4.1)'den de anlaşılacağı gibi $E(j) = P(w)t(s)$ ile birim zamanda harcanan enerji hesaplanmaktadır.

Gezgin tasarsız ağlarda bulunan düğümler enerji bakımından zayıftır ve genellikle pil gücü kullanmaktadır. Mevcut düğümlerin enerjileri verimli kullanıldığında ağın ömrü artabilmektedir. Bir mobil düğüm paket gönderirken, paket alırken, boş dururken veya uyku modunda iken enerji harcamaktadır. Kablosuz ağlarda enerji tüketimi ile ilgili aşağıda belirtilen olası dört anten operasyonları Şekil 4.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Dört durumdan oluşan anten modeli

G_t : Gönderme (anten veri gönderirken)

G_r : Alma (anten veri alırken)

G_{idle} : Mobil düğüm boşta (anten göndermeye ve almaya hazır)

G_{sleep} : Mobil düğüm uyku modunda (anten gücü düşük durumda, gönderme ve alma işlemi gerçekleştiriyor).

Bu çalışmada G_t ve G_r enerji tüketim modelleri göz önünde bulundurulmuştur. Bazı çalışmalarda veri transferi için kullanılmayan düğümler enerji verimliliği sağlamak için kapalı konumda bekletilmektedir. Bu yöntem ile enerji verimliliği sağlanması amaçlansa da kapalı konumdaki düğümler ağların birbirinden ayrışmasına neden olabilmektedir.

Yolların keşfedilmesi esnasında hangi düğümlerin fazla enerji tükettiği bilgisi elde edilebilmektedir. Böylelikle enerji verimliliği sağlanabilecek yollar yönlendirme tablolarında saklanarak veri iletimi için kullanılmaktadır. Her bir düğümün harcamış olduğu enerji miktarını belirli bir T zaman aralığı içerisinde hesaplamak mümkündür.

t_A başlangıç zamanından t_B bitiş zamanına kadar geçen süre

$$T(t_A, t_B) = t_B - t_A \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır. Böylece T süresince E_c enerji tüketimi

$$E_c(T) = N_t E_t + N_r E_r \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanır. Burada gösterilen

$E_c(t)$: bir düğüm tarafından t zamanı süresince harcanan toplam enerji miktarı,

N_t : gönderilen paket sayısı,

E_t : bir paketin gönderimi için harcanan enerji,

N_r : alınan paket sayısı,

E_r : bir paketin alımı için harcanan enerji miktarıdır.

Burada,

$$\begin{aligned} E_t &= TX(t)TX(p) \\ E_r &= RX(t)RX(p) \end{aligned} \quad (4.4)$$

$TX(t)$: bir paketin gönderilmesi için geçen süre

$TX(p)$: bir paketin gönderilmesi için gerekli güç miktarı

$RX(t)$: bir paketin alınması için geçen süre

$RX(p)$: bir paketin alınması için gerekli güç miktarıdır.

Bir düğümün başlangıç enerjisi E_i kabul edilirse, kalan enerjisi E_R aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$E_R = E_i - E_c(t) \quad (4.5)$$

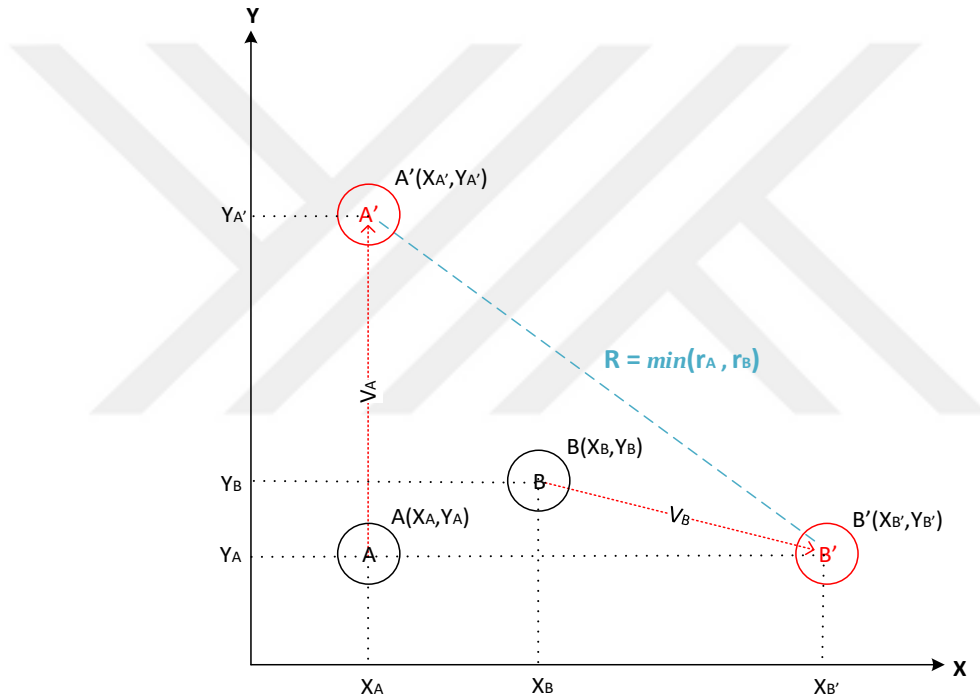
Yol üzerindeki her bir düğümün kalan enerjisi E_R hesaplandığında, E_T eşik değerinden küçük veya eşit ise ($E_R \leq E_T$) düğümler yönlendirme tablolarında saklanmamaktadır.

MANET’lerde bir düğümün minimum gereksinim duyduğu enerji miktarını hesaplaması için öncelikle uygulama katmanından oluşturacağı toplam veri paketi adeti alınmaktadır. Bir düğümün donanımsal yönden anten çeşitliliğine bağlı olarak, bir paketin gönderilmesi, alınması veya uyku durumlarında güç tüketim miktarları bilinmektedir. Tüm paketlerin hedefe ulaştırılması için gerekli minimum enerji miktarı, toplam gönderilecek paket sayısının, bir paketi göndermek için harcanan enerji miktarı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Elde edilen minimum enerji miktarı yol kurulumu aşamasında QERREQ paketi içerisindeki ilgili alana yazılarak tüm komşu düğümlere gönderilmektedir. Paketi alan düğümler, minimum enerji miktarı ile o an kendi enerji miktarlarını karşılaştırmaktadır. Düğümler enerji seviyelerinin kontrol edilmesi veya anlık olarak ölçülmesi gibi işlemleri fiziksel katmanda gerçekleştirmektedir. Eğer minimum gerekli enerji seviyesi, düğümün kalan enerjisine

eşit veya daha az ise QERREQ paketi işlenmektedir. Aksi taktirde gerekli enerji seviyesine sahip olmadığı için paket düşürülmektedir.

4.1.3. QEAODV düğümler arası bağlantı yaşam süresi hesaplanması

Kablosuz düğümler antenlerinin çeşitliliğine göre farklı mesafelerde kapsama alanlarına sahiptirler. Farklı iki düğüm arasında çift yönlü veri transferi sağlanması için kapsama alanı daha dar olan düğüm göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 4.7. A ve B düğümleri arasındaki yaşam süresi gösterimi

Şekil 4.7.'de kapsama alanı sırasıyla r_A ve r_B olan A ve B hareketli düğümleri görülmektedir. Burada r_A ve r_B kapsama alanlarından minimum olanına R denilmektedir. Bu düğümlerin sırasıyla şimdiki koordinatları $A(X_A, Y_A)$ ve $B(X_B, Y_B)$, hızları V_A ve V_B , hız vektörlerinin x -ekseniyle pozitif yönde yaptıkları açılar ise θ_A ve θ_B olsun. t süre sonunda bu iki hareketlinin koordinatlarının A' ve B'

olduğunu ve hareket yönlerinin ve doğrultularının değişmediği varsayılmaktadır. Bu durumda

$$\begin{aligned}
 A' &= (X_A + V_A t \cos \theta_A, Y_A + V_A t \sin \theta_A) \\
 B' &= (X_B + V_B t \cos \theta_B, Y_B + V_B t \sin \theta_B) \\
 \overrightarrow{AA'} &= A' - A = (V_A t \cos \theta_A, V_A t \sin \theta_A) \\
 \overrightarrow{BB'} &= B' - B = (V_B t \cos \theta_B, V_B t \sin \theta_B)
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

dir. $\vec{r} = \overrightarrow{BB'} - \overrightarrow{AA'}$ olacağından

$$\vec{R} = B' - A' = (X_B - X_A + V_B t \cos \theta_B - V_A t \cos \theta_A, Y_B - Y_A + V_B t \sin \theta_B - V_A t \sin \theta_A) \tag{4.7}$$

elde edilir. Burada $a = X_B - X_A$, $b = (V_B \cos \theta_B - V_A \cos \theta_A)$, $c = Y_B - Y_A$ ve $d = V_B \sin \theta_B - V_A \sin \theta_A$ kısaltmalarını kullanır ise

$$\vec{R} = (a + tb, c + td)$$

ve

$$R = \sqrt{a^2 + c^2 + t^2(b^2 + d^2) + 2t(ab + cd)}$$

eşitliklerini elde edilmektedir. En son elde edilen eşitliğin her iki tarafının karesini alıp her iki tarafı $(b^2 + d^2)$ terimi ile çarpılır ise

$$R^2(b^2 + d^2) = [t(b^2 + d^2)]^2 + 2t(b^2 + d^2)(ab + cd) + a^2b^2 + c^2d^2 + a^2d^2 + b^2c^2$$

denklemini elde edilmektedir.. Burada eşitliğin sağ tarafına $2abcd$ ifadesini eklenilip çıkarılırsa

$$\begin{aligned}
 R^2(b^2 + d^2) &= [t(b^2 + d^2)]^2 + 2t(b^2 + d^2)(ab + cd) + a^2b^2 + 2abcd + c^2d^2 \\
 &+ b^2c^2 - 2abcd + a^2d^2
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

elde edilir ve eşitliğin sağ tarafı

$$R^2(b^2 + d^2) = \left[t(b^2 + d^2) + (ab + cd) \right]^2 + (bc - ad)^2 \quad (4.9)$$

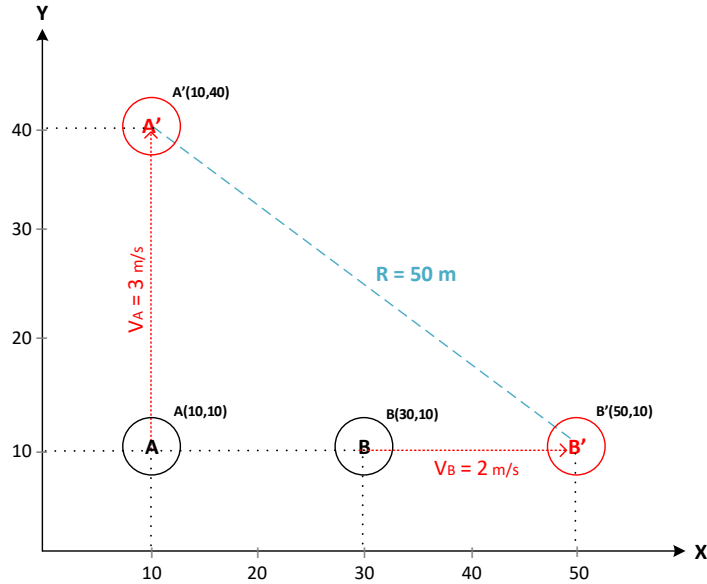
biçiminde toparlanabilmektedir. Buradan bağlantı yaşam süresi formülü olan t çekilir ise

$$\text{Bağlantı Yaşam Süresi (BYS)} = \frac{-(ab + cd) + \sqrt{(b^2 + d^2)R^2 - (bc - ad)^2}}{(b^2 + d^2)} \quad (4.10)$$

olarak elde edilir.

Sonuç olarak A ve B hareketli düğümleri arasındaki mesafe t süre sonra s ise $s = R$ olması için $t = \text{BYS}$ olması gerekir ve bu durum yeterlidir.

Örnek:



Şekil 4.8. Gezin düğümlerin t_0 ve t_{10} anındaki X ve Y konumları

t_0 anında

$$A(10,10), V_A = 3m/s; B(30,10), V_B = 2m/s,$$

t_{10} anında

$$A'(10,40); B'(50,10)$$

olsun. Bu iki düğümün kapsama alanı sırasıyla $r=100m$ ve $r=50m$ ise, iki yönlü iletişimin sağlanması için kapsama alanı dar olan kullanılır.

$$a = 30 - 10 = 20$$

$$b = 2 \cos 0^\circ - 3 \cos 90^\circ = 2$$

$$c = 10 - 10 = 0$$

$$d = 2 \sin 0^\circ - 3 \sin 90^\circ = -3$$

(4.10) formülünü kullanırsak,

$$BYS = \frac{-(40+0) + \sqrt{13 \cdot (50)^2 - (60)^2}}{13}$$

$$BYS = \frac{-40+170}{13} = \frac{130}{13} = 10 \text{ saniye}$$

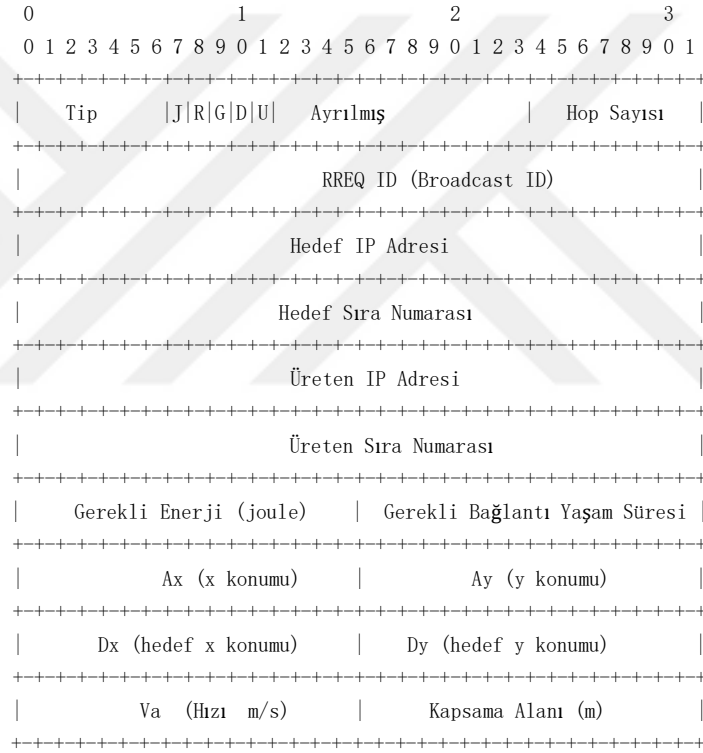
elde edilir. Bu sonuç ise iki düğüm arasındaki bağlantının 10 saniye sonra kopacağını göstermektedir.

4.2. QEAODV Kontrol Paketleri

QEAODV protokolü yönlendirme işlemleri için QERREQ, QERREP, QERERR mesajlarını kullanmaktadır.

4.2.1. QEAODV QERREQ paketi

Bir düğüm bir hedef için yol bilgisine ihtiyaç duyduğu zaman Şekil 4.9.'da gösterilen biçimde bir QERREQ mesajı yayınlamaktadır. Hedef veya hedefe ait yeterince güncel bilgiye sahip düğüm tarafından gönderilen tek yönlü QERREP mesajının alınmasıyla hedefe ait yol elde edilir. Bu iletişim sırasında, ara düğümler aldıkları mesajlardan kendi yönlendirme tablolarını güncellemektedirler. AODV yönlendirme protokolünde bulunan RREQ mesaj formatı QoS parametrelerini destekleyecek şekilde genişletilerek QERREQ mesaj paketi oluşturulmuştur.



Şekil 4.9. Yol isteği (QERREQ) mesaj formatı

QERREQ mesaj paketinde, fiziksel katmandan elde edilen düğümün anlık kalan enerjisi (joule), GPS ile elde edilen düğümün x ve y konumu, varacağı hedefin x ve y konumu, hareket halindeyse hızı (metre/saniye), kapsama alanı ve uygulama katmanından alınacak olan gerekli minimum bağlantı süresi (saniye) olmak üzere bulunmaktadır.

4.2.2. QEAODV QERREP paketi

Bir düğüm kendisine gelen QERREQ mesajının hedefi ise veya QERREQ mesajının hedefine ait geçerli bir yola sahip ise, hedef için düğümde var olan yönlendirme tablosundaki hedef sıra numarası geçerli ve QERREQ mesajındaki hedef sıra numarası büyük veya eşit ise Şekil 4.10.'daki gibi bir QERREP mesajı yayınlamaktadır. AODV yönlendirme protokolünde bulunan RREQ mesaj formatında herhangi bir değişiklik yapılmadan QERREQ mesaj paketi oluşturulmuştur.



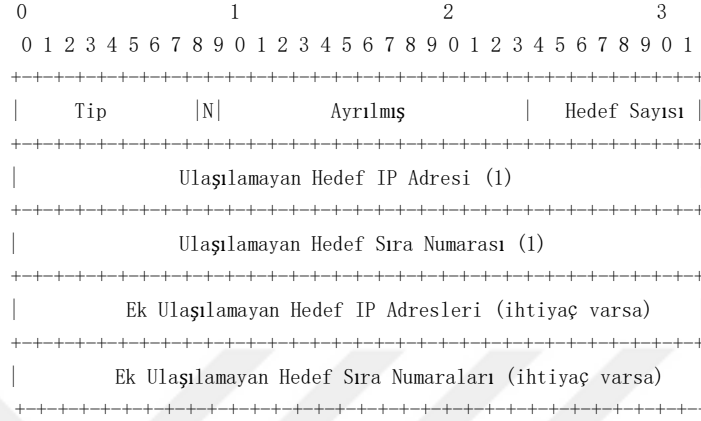
Şekil 4.10. Yol cevabı (QERREP) mesaj formatı

Düğüm QERREP üretirken, hedef IP adresini, QERREQ mesajını üretenin IP'sini ve fiziksel katmandan elde ettiği düğümün anlık kalan enerjisini (joule) olarak QERREP mesajında karşılık gelen alanlara eklemektedir. Hedef kendisi ise yönlendirme tablosunda mesajı gönderene ait bilgileri güncellemekte ve bir sonraki düğüme adım sayısını artırarak göndermektedir. Böylece üreten hedefin kaç adım uzaklıkta olduğunu öğrenmektedir. Eğer hedef kendisi ise kendi sıra numarasını artırmak zorundadır. Aksi halde hedef düğüm QERREP üretmeden sıra numarasını değiştirmemektedir.

4.2.3. QEAODV QERERR paketi

Düğümler bir sonraki düğümün bağlantı durumunu takip ederler. Aktif bir yolun bağlantısında bir bağlantı kopması olduğunda Şekil 4.11.'deki gibi bir QERERR

mesajı yayınlamaktadırlar. AODV protokolünde bulunan RERR mesaj paketi formatında herhangi bir değişiklik yapılmadan QERERR mesaj paketinde aynen kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Yol hatası (QERERR) mesaj formatı

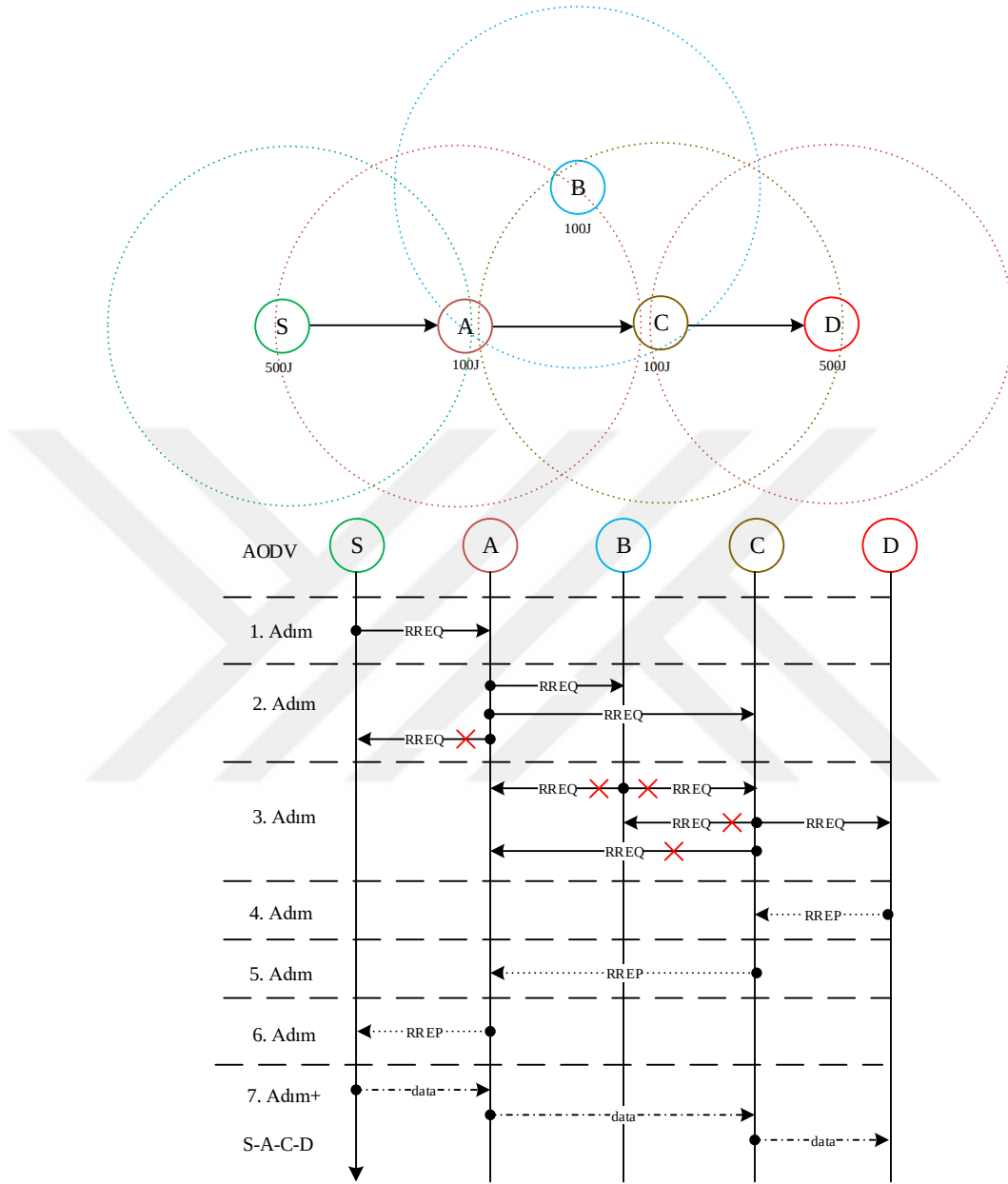
Bu mesaj belirtilen hedefin veya hedeflerin artık ulaşamaz olduğunu belirtmektedir. Bu mekanizmayı mümkün kılmak amacıyla her bir düğüm “ön işaretçi” listesi tutmaktadır.

4.3. QEAODV Yol Kurulum Süreci ve AODV Karşılaştırması

Bu bölümdeki zaman çizelgelerinde 5 düğümden oluşan ve başlangıç konumları birbirinden farklı ağ senaryoları bulunmaktadır. Her bir senaryo için AODV protokolü ve QEAODV protokollerinin yönlendirme işlemleri adım adım gösterilmektedir. QEAODV protokolü yönlendirme işlemini gerçekleştirirken ara düğümlerdeki ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarı 20 joule olarak belirlenmiştir.

İlk olarak tüm düğümlerin enerji miktarlarının yeterli olduğu durum gösterilmiştir. Ardından ağ içerisinde bulunan düğümlerden bir tanesinin enerji miktarı yetersiz olacak şekilde senaryo değiştirilerek, yol kurulum işlemi ve mesaj ek yükü AODV ve QEAODV protokollerinde ayrı ayrı ele alınmıştır. Karşılaştırmalarda QEAODV protokolünün mesaj ek yükünün AODV’ye göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.

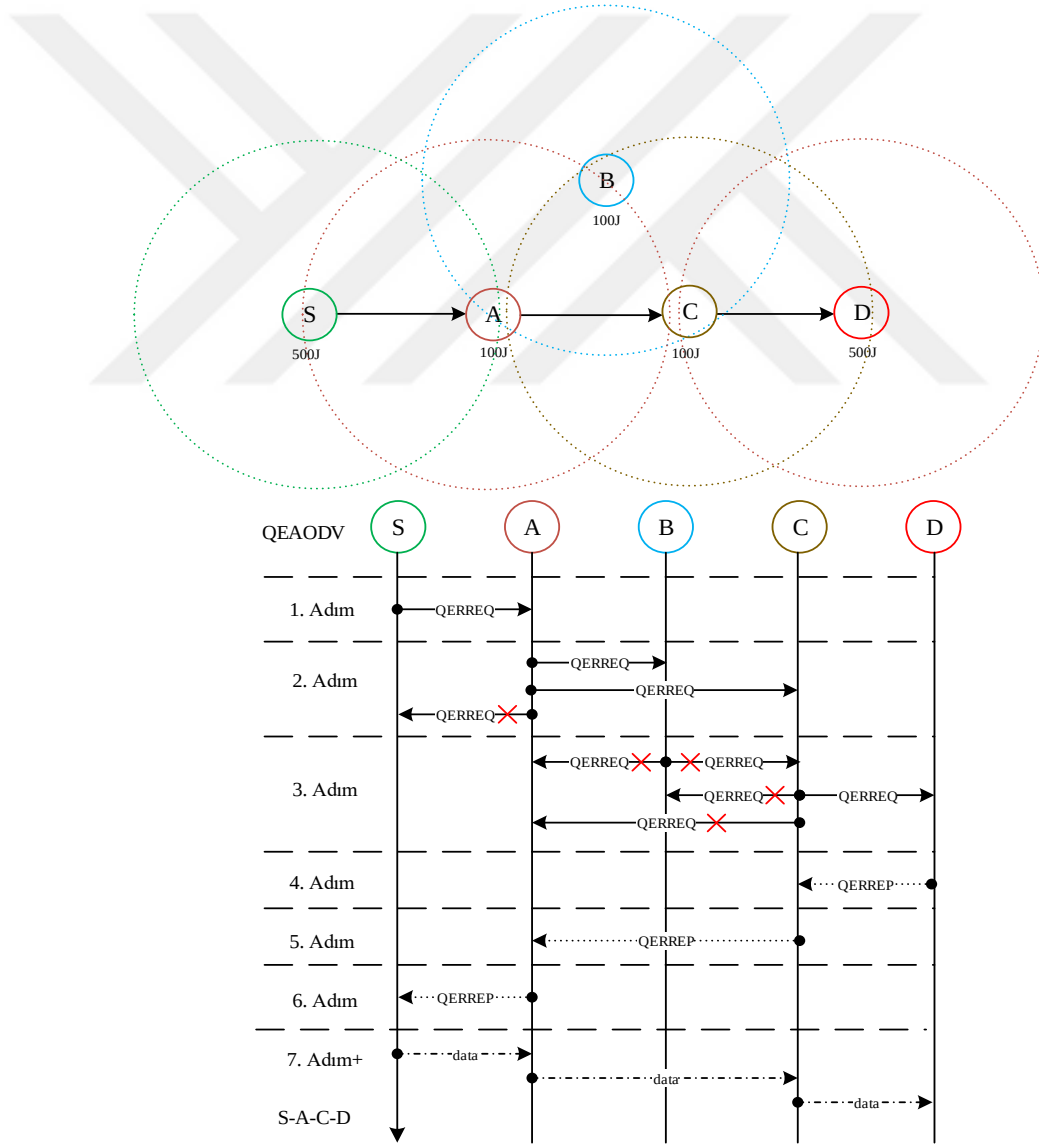
4.3.1. Enerji miktarlarının yeterli olduğu durum



Şekil 4.12. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (Enerji miktarları yeterli)

AODV yönlendirme protokolünde, Şekil 4.12.'de gösterildiği gibi kaynak düğüm S, hedef düğüm D'ye ulaşmak için RREQ mesajını komşu düğümlere yayınlamaktadır. Kapsama alanı içerisinde bulunan A düğümü RREQ mesaj paketini almaktadır. Hedef kendisi olmadığından ve hedefe doğru bir yol barındırmadığından, RREQ mesaj paketini komşu düğümlerine yayınlamaktadır. S düğümü RREQ mesajını aldığı anda,

bu mesajı kendisi yayınladığı için paketi düşürür. RREQ mesaj paketini kapsama alanı içerisinde bulunan B ve C düğümleri almaktadır. Onlar da aynı şekilde RREQ mesaj paketini yönlendirmektedirler. Aynı mesaj paketini tekrar duyan A-B ve C düğümleri bu paketleri düşürmektedir. Son olarak C düğümünden yönlendirilen RREQ mesaj paketi hedef düğüm D tarafından alınır. Hedefe ulaşan RREQ mesaj paketine karşılık olarak D düğümü tarafından bir RREPLY mesaj paketi oluşturulur ve bu paket D-C-A-S düğümleri ile S kaynak düğümüne ulaştırılmaktadır. S kaynak düğümü RREPLY mesaj paketini aldığı anda yol kurulum işlemi gerçekleştirilmekte ve S-A-C-D yolu üzerinden veri transferi başlatılmaktadır.



Şekil 4.13. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (Enerji miktarları yeterli)

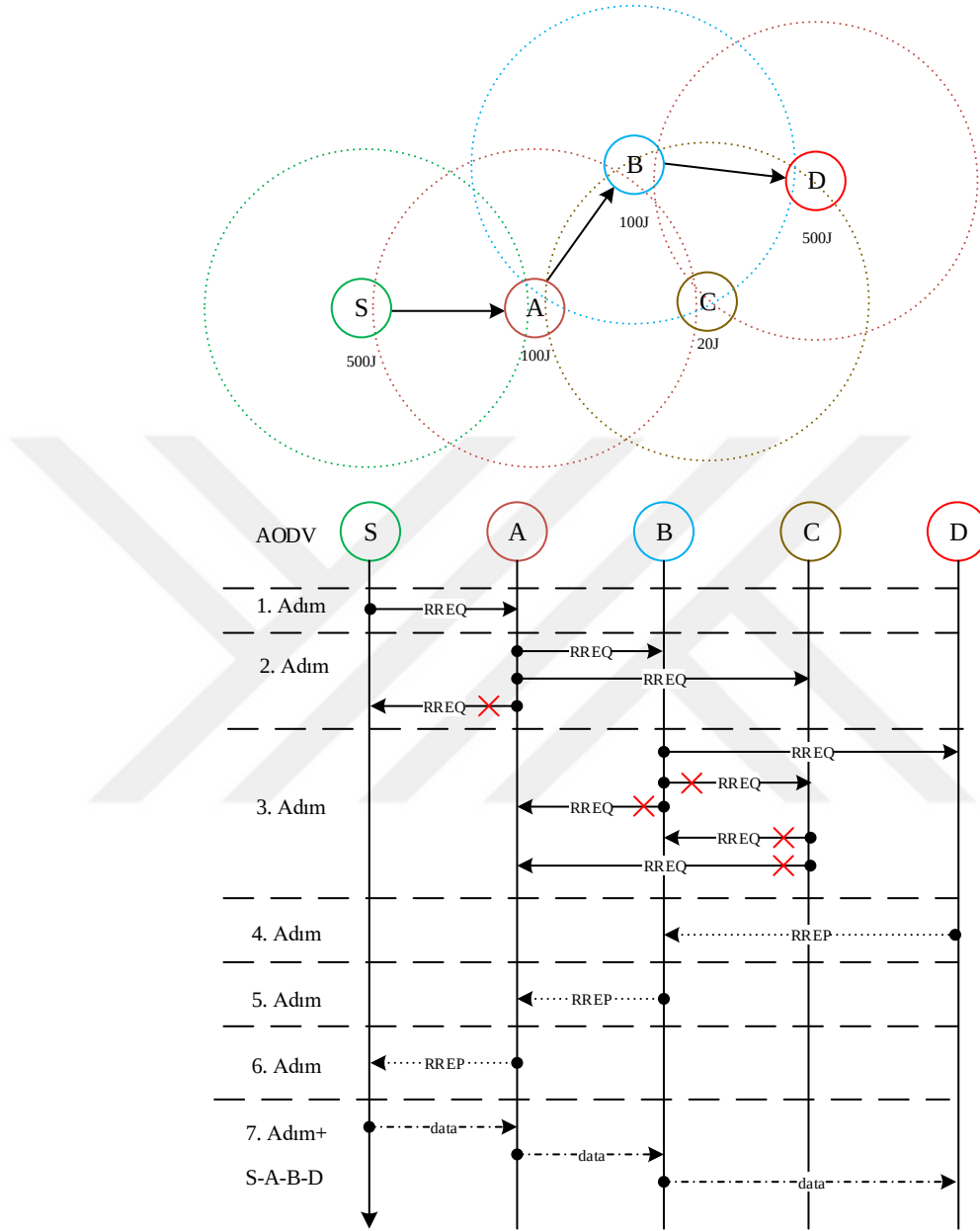
QEAODV yönlendirme protokolünde, Şekil 4.13.'te gösterildiği gibi kaynak düğüm S, hedef düğüm D'ye ulaşmak için QERREQ mesajını komşu düğümlere yayınlamaktadır.

Gönderilecek veri paketinin miktarı ile hesaplanan minimum gerekli enerji miktarı 20 joule olarak QERREQ mesaj paketine eklenmiştir. Aynı zamanda düğümün x, y konumu ve düğümler hareket etmediğinden dolayı hedef konumları da şu anki konumları ile aynı ve hızları sıfır (0) metre / saniye olarak QERREQ paketine eklenmiştir.

Kapsama alanı içerisinde bulunan A düğümü QERREQ mesaj paketini almaktadır. Öncelikle paketi oluşturan düğümün kendisi olmadığını, aynı paketi aynı kaynaktan ilk defa duyduğunu teyit etmektedir. Ardından gerekli minimum enerji miktarını sağladığını kontrol etmektedir. Daha sonra paketi aldığı düğüm ile arasındaki bağlantı yaşam süresini hesaplamaktadır. Senaryodaki düğümler hareket halinde olmadığından bağlantı yaşam süresi stabil ve iki düğüm arasındaki bağlantının kopmayacağı yapılan hesaplamalarda da görülmektedir. Ardından hedef kendisi olmadığından ve hedefe doğru bir yol barındırmadığından, QERREQ mesaj paketindeki ilgili alanları güncelleyerek komşu düğümlerine yayınlamaktadır. S düğümü QERREQ mesajını aldığı anda, bu mesajı kendisi yayınladığı için paketi düşürür. QERREQ mesaj paketini kapsama alanı içerisinde bulunan B ve C düğümleri almaktadır. Onlarda aynı şekilde QERREQ mesaj paketinin ilgili alanlarını güncelledikten sonra yönlendirmektedirler. Aynı mesaj paketini tekrar duyan A-B ve C düğümleri bu paketleri düşürmektedir.

Son olarak C düğümünden yönlendirilen QERREQ mesaj paketi hedef düğüm D tarafından alınır. Hedefe ulaşan QERREQ mesaj paketine karşılık olarak D düğümü tarafından bir QERREP mesaj paketi oluşturulur ve bu paket D-C-A-S düğümleri ile S kaynak düğümüne ulaştırılmaktadır. S kaynak düğümü QERREP mesaj paketini aldığı anda yol kurulum işlemi gerçekleştirilmekte ve S-A-C-D yolu üzerinden veri transferi başlatılmaktadır.

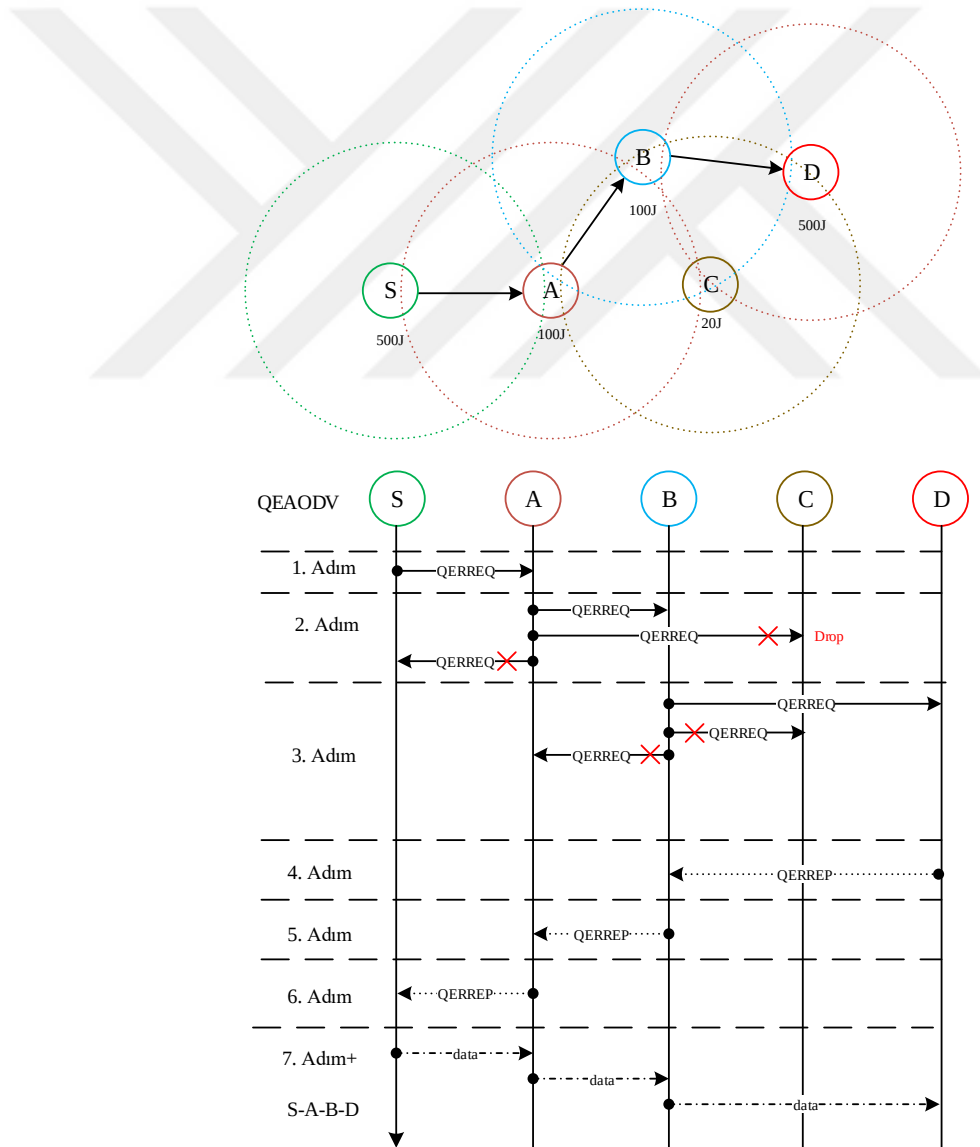
4.3.2. Sadece C düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum



Şekil 4.14. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (C düğümü enerji miktarı yetersiz)

AODV yönlendirme protokolünde, Şekil 4.14.'te gösterildiği gibi kaynak düğüm S, hedef düğüm D'ye ulaşmak için RREQ mesajını komşu düğümlere yayınlamaktadır. Kapsama alanı içerisinde bulunan A düğümü RREQ mesaj paketini almaktadır. Hedef kendisi olmadığından ve hedefe doğru bir yol barındırmadığından, RREQ mesaj paketini komşu düğümlerine yayınlamaktadır. S düğümü RREQ mesajını aldığı anda,

bu mesajı kendisi yayınladığı için paketi düşürür. RREQ mesaj paketini kapsama alanı içerisinde bulunan B ve C düğümleri almaktadır. Onlarda aynı şekilde RREQ mesaj paketini yönlendirmektedirler. Aynı mesaj paketini tekrar duyan A-B ve C düğümleri bu paketleri düşürmektedir. Son olarak B düğümünden yönlendirilen RREQ mesaj paketi hedef düğüm D tarafından alınır. Hedefe ulaşan RREQ mesaj paketine karşılık olarak D düğümü tarafından bir RREPLY mesaj paketi oluşturulur ve bu paket D-B-A-S düğümleri ile S kaynak düğümüne ulaştırılmaktadır. S kaynak düğümü RREPLY mesaj paketini aldığı anda yol kurulum işlemi gerçekleştirilmekte ve S-A-B-D yolu üzerinden veri transferi başlatılmaktadır.



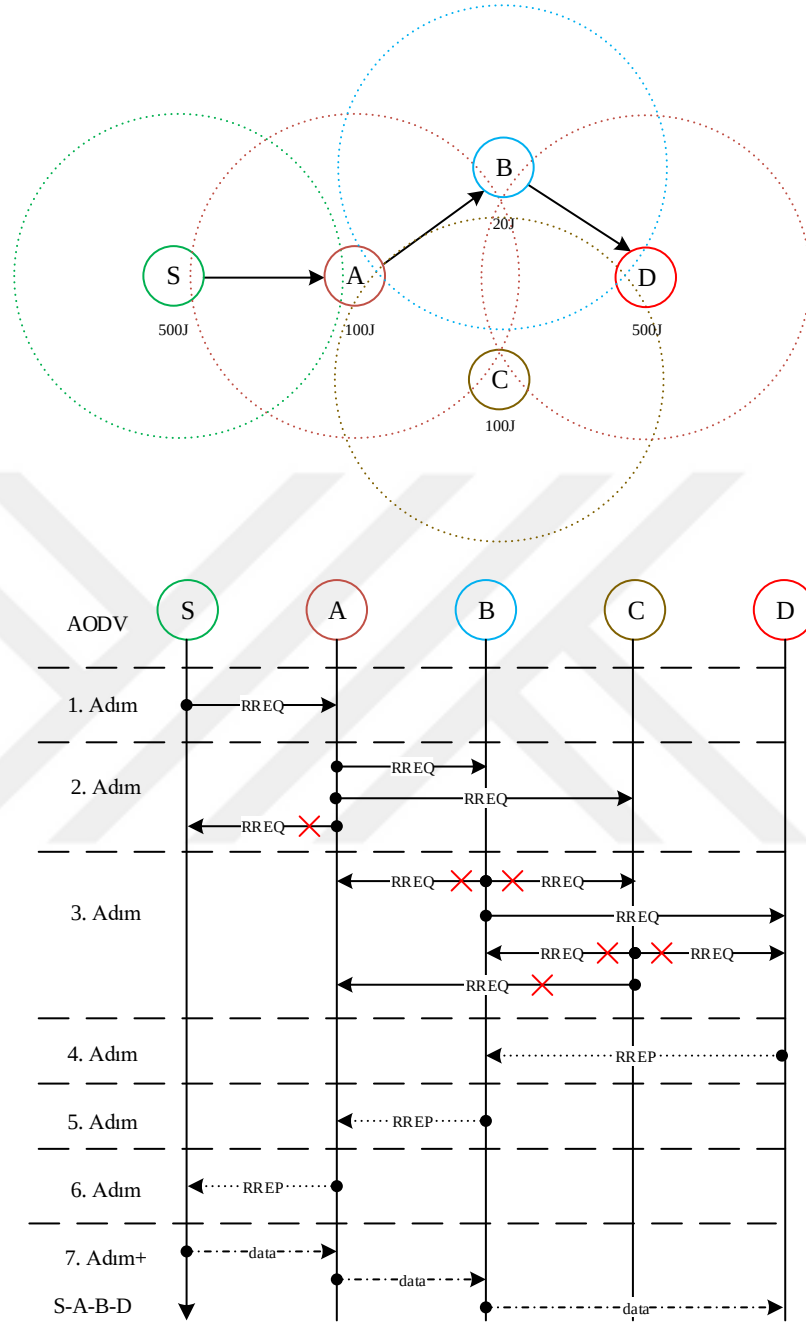
Şekil 4.15. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (C düğümü enerji miktarı yetersiz)

QEAODV yönlendirme protokolünde, Şekil 4.15.'de gösterildiği gibi kaynak düğüm S, hedef düğüm D'ye ulaşmak için QERREQ mesajını komşu düğümlere yayınlamaktadır.

Gönderilecek veri paketinin miktarı ile hesaplanan minimum gerekli enerji miktarı 20 joule olarak QERREQ mesaj paketine eklenmiştir. Aynı zamanda düğümün x, y konumu ve düğümler hareket etmediğinden dolayı hızları sıfır (0) metre / saniye ve x eksenini ile yapmış oldukları açı da sıfır (0) derece olarak QERREQ paketine eklenmiştir.

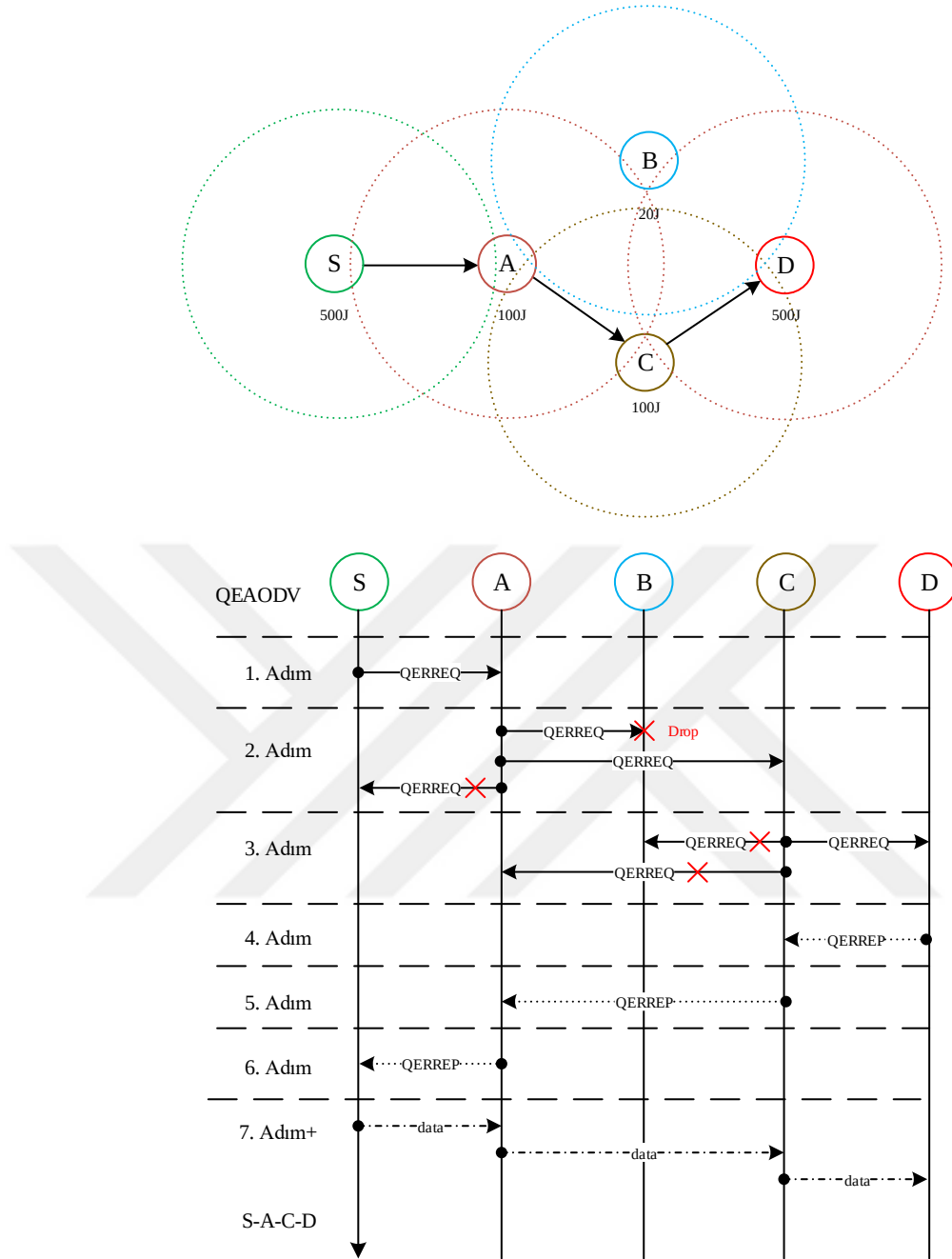
Kapsama alanı içerisinde bulunan A düğümü QERREQ mesaj paketini almaktadır. Öncelikle gerekli minimum enerji miktarını sağladığını kontrol etmektedir. Ardından paketi aldığı düğüm ile arasındaki bağlantı yaşam süresini hesaplamaktadır. Düğümler hareket halinde olmadığından bağlantı yaşam süresi stabil ve iki düğüm arasındaki bağlantının kopmayacağı hesaplanmaktadır. Ardından hedef kendisi olmadığından ve hedefe doğru bir yol barındırmadığından, QERREQ mesaj paketindeki ilgili alanları güncelleyerek komşu düğümlerine yayınlamaktadır. S düğümü QERREQ mesajını aldığı anda, bu mesajı kendisi yayınladığı için paketi düşürür. QERREQ mesaj paketini kapsama alanı içerisinde bulunan B ve C düğümleri almaktadır. C düğümünün enerjisi gerekli minimum enerji miktarını karşılayamadığı için paketi düşürmektedir. B düğümü ise minimum gerekli enerji miktarının üzerinde bir enerjiye sahip olduğundan, QERREQ mesaj paketinin ilgili alanlarını güncelledikten sonra yönlendirmektedir. Aynı mesaj paketini tekrar duyan A ve C düğümleri bu paketleri düşürmektedir. Son olarak B düğümünden yönlendirilen QERREQ mesaj paketi hedef düğüm D tarafından alınır. Hedefe ulaşan QERREQ mesaj paketine karşılık olarak D düğümü tarafından bir QERREPLY mesaj paketi oluşturulur ve bu paket D-B-A-S düğümleri ile S kaynak düğüme ulaştırılmaktadır. S kaynak düğümü QERREPLY mesaj paketini aldığı anda yol kurulum işlemi gerçekleştirilmekte ve S-A-B-D yolu üzerinden veri transferi başlatılmaktadır.

4.3.3. Sadece B düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum



Şekil 4.16. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (B düğümü enerji miktarı yetersiz)

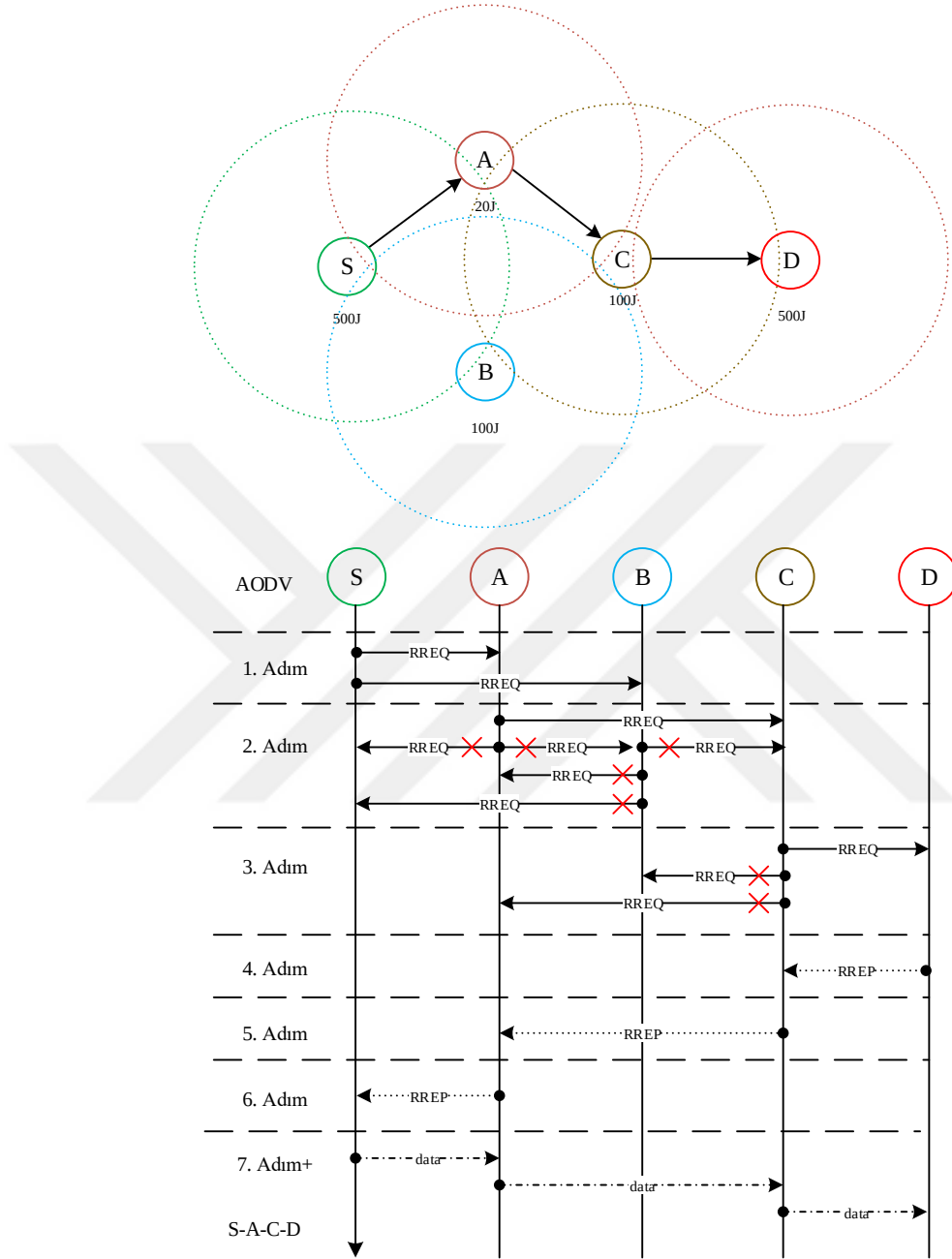
AODV ile yol kurulumu tamamlandıktan sonra, veri gönderim işlemi Şekil 4.16.'daki gibi B düğümü üzerinden iletim devam etmekte iken, B düğümünün enerjisinin tükenmesi sebebiyle yol bozulmaktadır. Ardından veri paket kayıpları yaşanmakta ve tekrar yol kurulum işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.17. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (B düğümü enerji miktarı yetersiz)

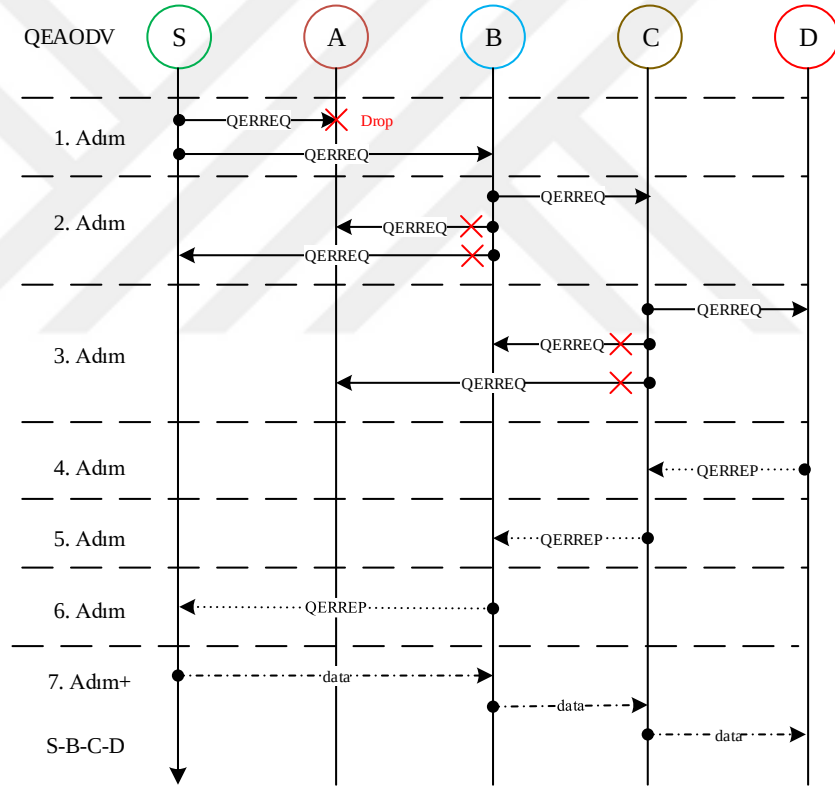
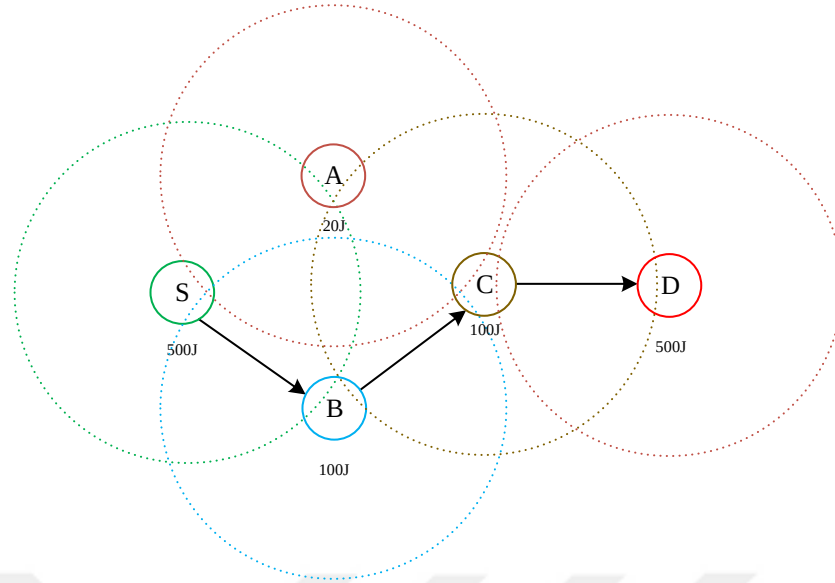
QEAODV ile yol kurulumu tamamlandıktan sonra, veri gönderim işlemi Şekil 4.17.'deki gibi enerjisi yüksek olan C düğümü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Veri transferi süresince yol üzerinde bulunan düğümlerin enerjileri bitmediğinden yol bozulması veya tekrar yol kurulum işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece tüm paketler güvenli bir şekilde kaynaktan hedefe ulaştırılmış olmaktadır.

4.3.4. Sadece A düğümünün enerji miktarının yetersiz olduğu durum



Şekil 4.18. Beş düğümlü AODV yönlendirme işlemi (A düğümü enerji miktarı yetersiz)

AODV ile yol kurulumu tamamlandıktan sonra, veri gönderim işlemi Şekil 4.18.'deki gibi A düğümü üzerinden iletim devam etmekte iken, A düğümünün enerjisinin tükenmesi sebebiyle yol bozulmaktadır. Ardından veri paket kayıpları yaşanmakta ve tekrar yol kurulum işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.19. Beş düğümlü QEAODV yönlendirme işlemi (A düğümü enerji miktarı yetersiz)

QEAODV ile yol kurulumu tamamlandıktan sonra, veri gönderim işlemi Şekil 4.19.'daki gibi B düğümü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Veri transferi süresince enerji seviyesi bitmediğinden yol bozulması veya tekrar yol kurulum işlemi gerçekleştirilmemektedir. Tüm paketler hedef tarafından alınmaktadır.

4.4. Protokolün Özellikleri ve Değerlendirme

QEAODV protokolünün başlıca sağlayacağı avantajlar aşağıda listelenmiştir.

Ölçeklenebilirlik: Protokol AODV tabanlı için ağ topolojisinin ölçeklenebilirliği oldukça yüksektir.

Bellek kullanımı: Gönderici düğüm tüm komşularının enerji seviyelerini, kuyruk durumlarını, kendisine ya da alıcıya uzaklığını vb. pek çok değeri saklamak zorunda olmadığından bellek kullanımı minimumdur.

Enerji Etkinliği: Her türlü uyku düzenine uygun olduğundan enerji etkin bir çalışmadır.

Ek Yük: Düğümlerin kuyruk doluluğunun-enerjisinin bir eşik değerini yukarı-aşağı yönde geçtiğini bilmek ve düzenli tazelemek zorunda olmadığından ve düğümler arasında fazladan bilgi alışverişini ortadan kaldırdığından ek yükü azaltır.

Yük paylaşımı: Dilimleme vb. yöntemlerle yükü ağdaki düğümler arasında dağıtır. Kuyruk doluluğu düşük düğümler gönüllü olarak diğer düğümlerin yükünü paylaşır.

Enerji korunumu: Düğümler arası kontrol paketi ve çekişme sayısını azaltması, uyumaya elverişli olmasından dolayı enerji korunumu yüksektir.

Gecikme: Çekişme ve kontrol paketinin azlığı trafiği hafifletir, gecikmeyi azaltır.

MANET’lerde servis kalitesini garanti edebilecek yönlendirme protokolü sayesinde güvenilir paket teslimatı ve bağlantı kopmalarına karşı geliştirilecek sezgisel algoritmalar ile daha dayanıklı yol bilgisi elde edilecektir.

BÖLÜM 5. SİMÜLASYON DENEYLERİ

Bu bölümde karşılaştırmalı olarak simülasyon deneyleri ve sonuçlarına yer verilmektedir. Simülasyon sonuçları ile enerji verimliliği, ağ çıkışı, paket teslim oranı, hareketlilik ve ölçeklenebilirlik ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

5.1. Simülasyon Ortamı

Tasarımcılar ve araştırmacılar, bir sistemi gerçekleştirmeden önce daha ucuz yöntemlerle sistemin çalışabilirliğini ve yeterliliğini inceleyebilmektedirler. İletişim sistemlerinin başarımlarını analiz, gerçek bir sistem ya da modellenmiş eşleniğinin kullanılması ile elde edilebilir. Karmaşık yapıya sahip iletişim sistemlerinin simülasyonu ile başta kullanıcı davranışları, iletişim ortamının doğası ve toleranslar olmak üzere başarımları etkileyen pek çok parametre vardır.

Kablosuz algılayıcı ağlarda donanımsal ve yazılımsal olarak henüz bir standartlaşmanın olmaması popüler birçok benzetim yazılımının kablosuz ağlara yönelik model ve protokol desteğinin zayıflamasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilen protokol, yöntem ya da algoritmaların modellenmesi ve benzetimlerinin gerçekleştirilmesi oldukça güçtür.

Son zamanlarda yapılan ağ simülatörü performans değerlendirmelerinde NS 2, OMNET++ ve JiST'in büyük ölçekli ağ simülasyonlarını başarılı bir şekilde gerçekleştirebildikleri kanıtlanmıştır [44].

Bu tez çalışmasında açık kaynak kodlu, mevcut protokolleri değiştirmeye ve yeni protokoller eklemeye olanak sağlayan, bünyesinde ihtiyaç duyulan birçok fonksiyon

ve yönlendirme protokolü barındıran ağ simülatörü (Network Simulator – NS 2.35) kullanılmıştır.

NS kablolu ve kablosuz ağ araştırmalarında kullanılan nesneye dayalı bir ayırık olay simülatörüdür. NS, TCP ve UDP protokollerini, FTP, TELNET, CBR, VBR gibi farklı trafik kaynaklarının davranışlarını ve yönlendirme protokollerinin kablolu ve kablosuz (yerel ve uydu) ağlarda simülasyonunu gerçekleştirebilir. Ayrıca çoklu yönlendirme protokollerini ve bazı MAC katmanı protokollerini de destekler. NS, C++ ve OTcl (TCL betik dilinin nesneye dayalı mimariye uyarlanmış hali) programlama dilleri ile yazılmıştır. NS, komut ve konfigürasyon arayüzü olarak OTcl yorumlayıcısını kullanır. Protokoller C++ ile gerçekleştirilmiştir, bu nedenle daha hızlı çalışırlar. Simülasyonlar ise OTcl ile yazılır ve daha yavaş çalışırlar. Simülatörü kullanmak için OTcl bilmek yeterli iken simülatörü geliştirmek için her iki dilde de programlamaya hâkim olmak gerekmektedir.

Simülasyonlar için kullanılan sistem özellikleri Tablo 5.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Simülasyon sistem özellikleri

İşletim Sistemi	Ubuntu 16.04 LTS 64bit
İşlemci	Intel® Core™ i7-6700HQ @2.60GHz (8CPU)
RAM	16 GB
Grafik Kartı	GeForce® GTX 970M 128GB

5.2. Performans Kriterleri

QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin performansını değerlendirirken bazı faktörlerin sonuçlar üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Bu parametrelerin bazıları, MANET ortamının özelliklerinin özel bir tezahürüdür. MANET'ler ile yapılan çalışmalarda aşağıda belirtilen performans kriterleri kullanılmaktadır.

Paket Teslim Oranı: Ağ üzerindeki hedef düğümler tarafından başarılı bir şekilde teslim alınan toplam veri paketi sayısının, kaynak düğümler tarafından oluşturularak

hedef düğümlere gönderilen veri paketlerinin toplamına bölünmesi ile elde edilmektedir:

$$\text{Paket Teslim Oranı} = \frac{\sum \text{Alınan veri paketi sayısı}}{\sum \text{Gönderilen veri paketi sayısı}} \quad (5.1)$$

Yönlendirme Ek Yüğü: Ağdaki düğümlerin birbirleri ile haberleşmesi için sağlanacak yolun bulunması veya iletişimin kopması durumunda tekrar yeni yol kurulması için yönlendirme mesaj paketleri oluşturulmaktadır. Yönlendirme protokolünün ağ üzerinde oluşturduğu mesaj paketlerinin toplam yükünün yüksek olması ağ performansını olumsuz etkilemektedir:

$$\text{Yönlendirme Ek Yüğü} = \sum \text{Yönlendirme protokolü ek mesajları} \quad (5.2)$$

Gecikme: Ağdaki kaynak düğümde IP katmanına bir veri paketi geldiği zaman ile hedef düğümün IP katmanına paketin ulaştığı zamana kadar geçen süredir. Bu ölçüm yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Seçilen yolun en iyisi olması her şeyden önce gecikmeye bağlıdır. Gecikmelerin en aza indirilmesi ağ performansını ve gecikmeye duyarlı çoklu ortam uygulama verilerinin verimli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır.

Ortalama Gecikme: Toplam gecikme süresinin, ağdaki düğümler arasındaki toplam bağlantı sayısına bölünmesi ile ortalama gecikme elde edilmektedir.

$$\text{Ortalama Gecikme} = \frac{\sum (\text{ulaşım zamanı} - \text{gönderim zamanı})}{\sum \text{düğümler arası bağlantı sayısı}} \quad (5.3)$$

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

Paket dağıtım oranı önemli bir ölçüttür. Ağ katmanının en üstünde çalışan iletim protokolleri tarafından anlaşılabilecek kayıp oranını tanımlar. Böylece paket dağıtım oranı ağın destekleyebileceği maksimum işlem hacmini dolaylı olarak gösterir. Benzetim ölçütlerini tanımlarken de bahsettiğimiz gibi paket dağıtım oranı bütün düğümlerde alınan veri paketlerinin toplam sayısının CBR kaynakları tarafından dışarı gönderilen veri paketlerinin toplam sayısına bölümüyle hesaplanır. Paket dağıtım oranı bir ad hoc yönlendirme protokolünün performans değerlendirmesi için önemli bir ölçüt oluşturur; çünkü verilen benzer senaryolarda hedeflere başarılı olarak dağıtılan veri paketlerinin sayısı çoğunlukla yol elverişliliğine bağlıdır. Yol elverişliliği ise dolaylı olarak bir mobil senaryosu içinde temel yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğuna bağlıdır. Yönlendirme yükü, paketleri yönlendirirken dışarı gönderilen toplam yönlendirme paketleri sayısı şeklinde hesaplanabilir. Burada yönlendirme taşması için benzetim gidişatı boyunca ağ katmanında gönderilen yönlendirme paketlerinin toplam sayısı temel alınmıştır.

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

Paket Başına Atlama Sayısı: Bir paketin kaynak düğümden hedef düğüme iletilmesi esnasında kurulan yol üzerinde bulunan aracı düğümler ve hedef düğümü de içeren toplam atlama sayısıdır.

Enerji Tüketimi: Ağda bulunan düğümler haberleşme ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve iletişimin sürekliliğinin sağlanması için enerji tüketiminde bulunmaktadır. Düğümlerin enerjilerinin etkin ve verimli kullanılması ağ performansına olumlu yönde etki etmektedir.

5.3. Simülasyon Deneyleri ve Değerlendirme

Bu bölümde QEAODV protokolünün AODV ve DSDV protokollerine göre performansları 5, 10, 25 ve 100 düğümlü MANET ağlarında simülasyon deneyleri ile karşılaştırılmıştır.

5.3.1. 5-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi

Protokollerin geçerliliği genellikle küçük ölçekli ağlar üzerinde gerçekleştirildiği için 5-düğümlü hareketsiz bir MANET modeli oluşturulmuş ve Tablo 5.2.'deki simülasyon parametreleriyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2. 5-Düğümlü hareketsiz MANET Modeli Simülasyon Parametreleri

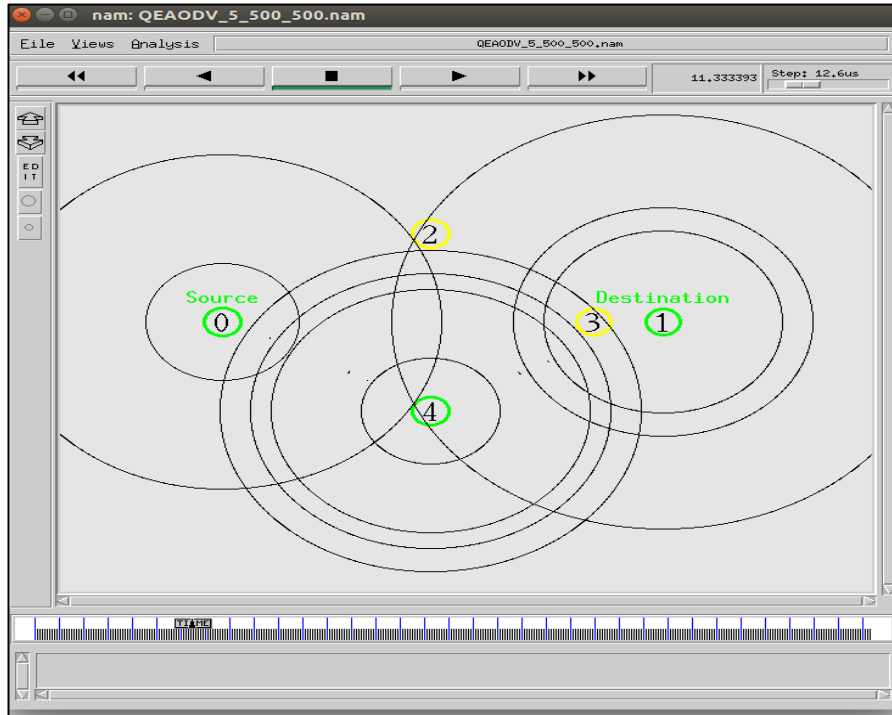
Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınımlı Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	500 m * 500 m
Düğüm Sayısı	5
Düğüm İlk Enerjileri	150, 150, 20, 20, 10
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	48 byte (384 bit)
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	$64000/384 = 166,6$ Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümün Kapsama Alanları	250 m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	20 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Mobil düğümler veri gönderimi ve alımı yaparken veya boş konumda iken anten donanım özelliklerine ve kapsama alanlarına göre belirli miktarda $P(joule)$ güç harcamaktadırlar. Tablo 5.3.'de belirlenen parametrelere göre mobil düğümlerin G_i başlangıç enerjileri $T(t_2 - t_1)$ başlangıç ve bitiş zaman aralığında, G_t paket gönderim gücü, G_r paket alım gücü ve G_{idle} boşta dururken harcadığı güç miktarlarına göre azalmaktadır. Enerjisi sıfır olan düğüm ağdan düşmekte ve herhangi bir etkileşimde bulunamamaktadır.

Tablo 5.3. Kullanılan enerji modeli parametreleri

Parametre	Değer Joule	Açıklama
		Belirli bir kapsama alanı içerisinde anten ile,
G_t	0,0021	veri gönderimi için harcanan enerji miktarı
G_r	0,0820	veri alımı için harcanan enerji miktarı
G_{idle}	0,0009	Herhangi bir eylem yapmıyor iken (boşta) harcanan enerji miktarıdır.

Tablo 5.3.'te belirtilen enerji tüketim değerleri simülasyonda kullanılmaktadır.



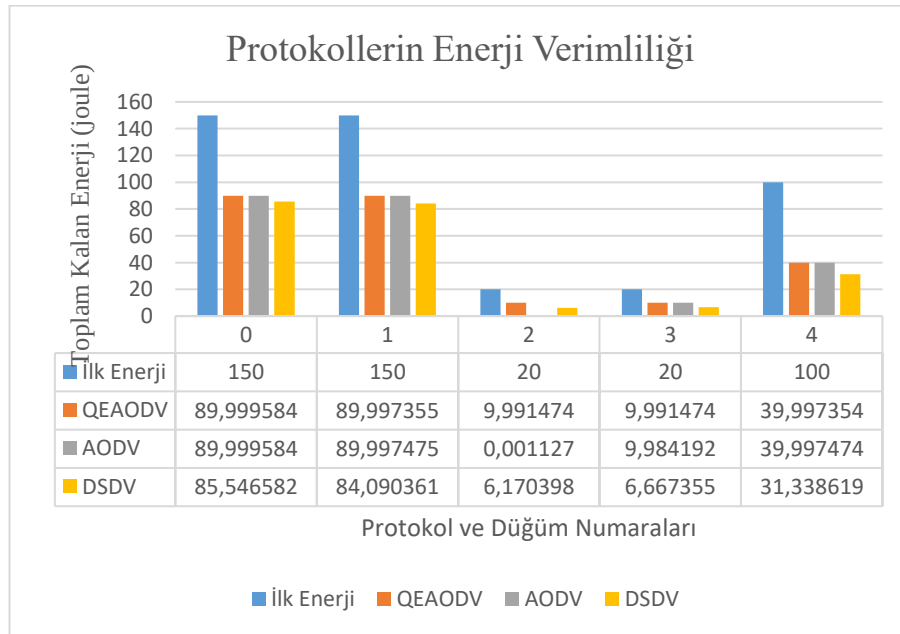
Şekil 5.1. QEAODV 5 düğümden oluşan simülasyon deneyi

Şekil 5.1.'de QEAODV protokolünün beş düğümden oluşan bir MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, bir numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler sırasıyla 150, 150, 20,20 ve 10 joule olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumlarının değişmediği ve hareketsiz olarak durdukları varsayılmıştır.

Tablo 5.4. Enerji tüketim değerleri

I D	İlk Enerji Joule	QEAODV		AODV		DSDV	
		Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan
0	150	60,000416	89,999584	60,000416	89,999584	64,453418	85,54658
1	150	60,002645	89,997355	60,002525	89,997475	65,909639	84,09036
2	20	10,008526	9,991474	19,998873	0,001127	13,829602	6,170398
3	20	10,008526	9,991474	10,015808	9,984192	13,332645	6,667355
4	100	60,002646	39,997354	60,002526	39,997474	68,661381	31,33861
Toplam		200,022759		210,020148		226,186685	

Simülasyon sonunda düğümlerin ilk enerjileri, harcanan enerjileri ve kalan enerjileri Tablo 5.4.'de gösterilmektedir. Enerji tüketim değerlerine bakıldığında QEAODV protokolünün en az enerji tükettiği görülmektedir.



Şekil 5.2. Toplam kalan enerji grafiği

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam kalan enerji miktarları Şekil 5.2.'deki grafikte gösterilmektedir. AODV protokolünün iki numaralı düğüm üzerinden veri transferini yapması ve böylece bu düğümün tüm enerjisinin bittiği görülmektedir. Genel olarak bakıldığında DSDV protokolü ikinci düğüm hariç, tüm düğümler üzerinde toplam kalan enerji miktarı diğer protokollere göre düşüktür.

Tablo 5.5. Protokol başına toplam kontrol paketi sayılarının karşılaştırılması

Kontrol Paketi Sayısı				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	3	9	36
	Alınan	8	21	79
	Yönlendirilen	1	2	0
	Toplam	12	32	115

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.4.'te toplam adetleri verilmektedir. QEAODV protokolünün, simülasyon süresince yol kurulumu için toplamda 12 adet mesaj kullandığı görülmektedir. Buna karşılık AODV protokolü yol kurulumunu gerçekleştirdikten sonra yol üzerindeki iki numaralı düğümün enerjisinin tükenmesi sebebiyle tekrardan yol kurulumu gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla yol kurulumları ile ilgili toplamda 32 adet mesaj kullanmaktadır. Aynı şekilde DSDV protokolünün ise oldukça fazla mesaj ek yüküne sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5.6. Ağ performans parametrelerinin karşılaştırılması

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	8334	8334	8334
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	8334	8325	5831
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	0	9	2503
Paket teslim oranı			%100,00	%99,89	%69,97
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			64,00	63,93	44,78
Ortalama Uçtan Uca Gecikme (ms)			4,44729	4,47588	4,45599

Veri paketlerinin iletim oranı yönlendirme protokolünün en önemli başarım ölçütlerindendir. Paket kayıpları ise istenmeyen durum olup, ağı başarısını olumsuz etkilemektedir. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.5.'de gösterilmektedir. Buna göre QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %0,11 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansının ise toplam ağ çıkışı olarak %69,97 ile düşük olduğu görülmektedir.

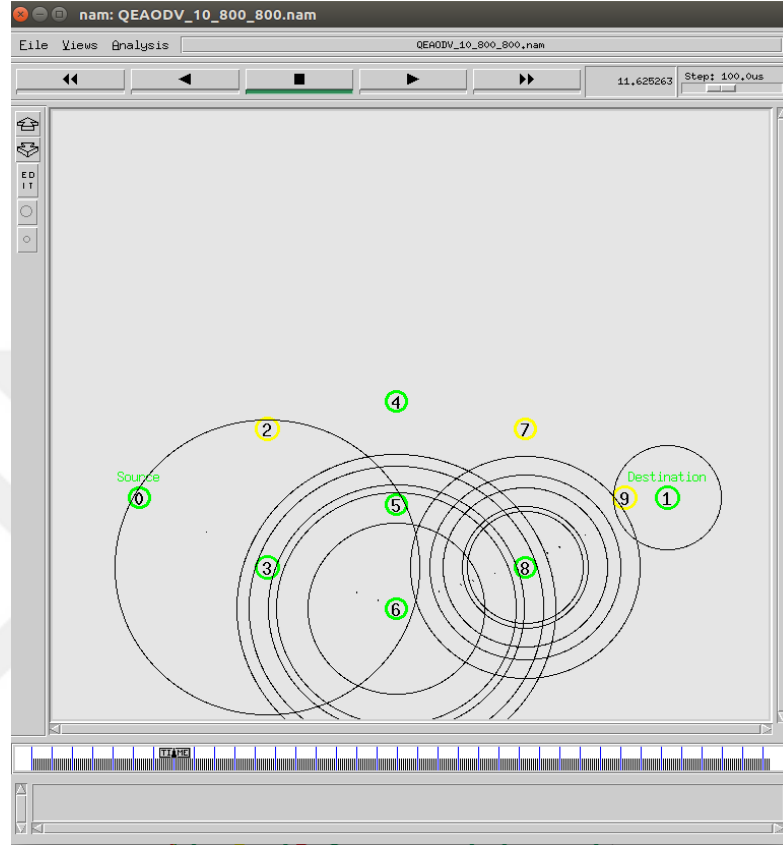
5.3.2. 10-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi

Tablo 5.7.'de on düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri gösterilmektedir.

Tablo 5.7. 10-Düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınlı Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	800 m * 800 m
Düğüm Sayısı	10
Düğüm İlk Enerjileri	150, 150, 20, 100, 20, 60, 100, 20, 100, 20
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	48 byte (384 bit)
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	$64000/384 = 166,6$ Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümlerin Kapsama Alanları	250m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	40 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Artan ölçek karşısında protokollerin çalışmasını karşılaştırabilmek için 10-düğümlü hareketsiz bir ağ modeli geliştirilmiştir ve Tablo 5.7'deki gibi aynı simülasyon parametreleriyle çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3. QEAODV 10 düğümden oluşan simülasyon deneyi

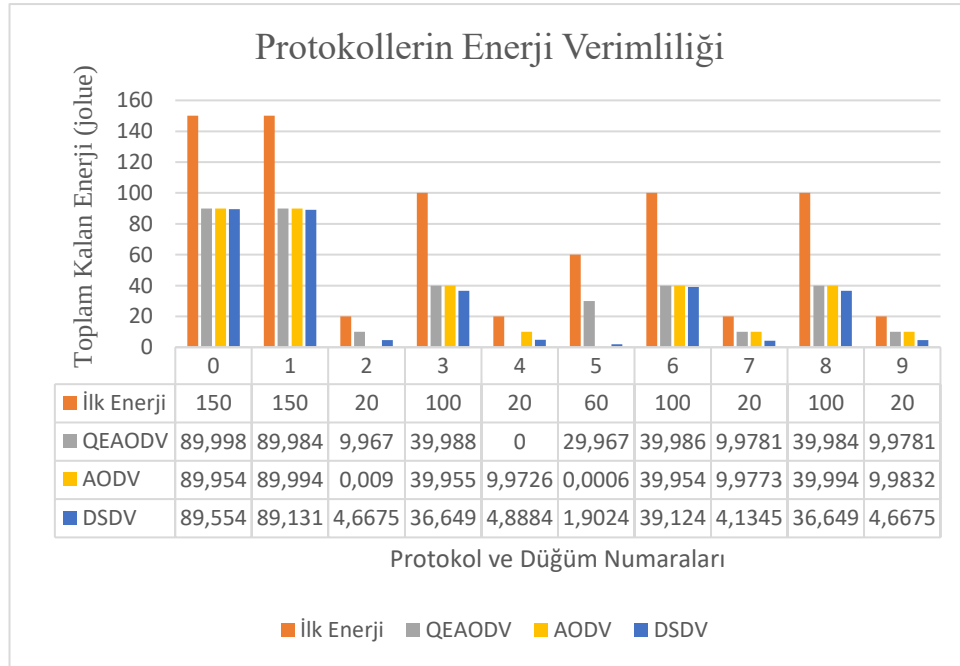
Şekil 5.3.'de QEAODV protokolünün on düğümden oluşan bir MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, bir numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler sırasıyla 150, 150, 20, 100, 20, 60, 100, 20, 100 ve 20 joule olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumlarının değişmediği ve hareketsiz olarak durdukları varsayılmıştır.

Simülasyon sonunda düğümlerin ilk enerjileri, harcanan enerjileri ve kalan enerjileri Tablo 5.8.'de gösterilmektedir. Enerji tüketim değerlerine bakıldığında QEAODV protokolünün en az enerji tükettiği görülmektedir.

Tablo 5.8. Enerji tüketim değerleri

Node	İlk Enerji	QEAODV		AODV		DSDV	
ID	(joule)	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan
0	150	60,002472	89,997528	60,046	89,953713	60,446	89,553642
1	150	60,016181	89,983819	60,006	89,99354	60,869	89,130619
2	20	10,032957	9,967043	19,991	0,008966	15,333	4,667472
3	100	60,011582	39,988418	60,045	39,955167	63,351	36,649412
4	20	20	0	10,027	9,972619	15,112	4,888367
5	60	30,032957	29,967043	59,999	0,000586	58,098	1,902424
6	100	60,013712	39,986288	60,046	39,953713	60,876	39,124004
7	20	10,02195	9,97805	10,023	9,977331	15,865	4,134513
8	100	60,016182	39,983818	60,006	39,993539	63,351	36,649412
9	20	10,02195	9,97805	10,017	9,983156	15,333	4,667471
Toplam		380,169943		410,20767		428,632664	

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam kalan enerji miktarları Şekil 5.4.'deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Toplam kalan enerji grafiği

QEAODV protokolü genel anlamda diğerlerine göre daha az enerji tükettiği görülmektedir. AODV protokolünün iki ve beş numaralı düğüm üzerinden veri transferini gerçekleştirmesi ve böylece bu düğümlerin tüm enerjilerinin bitmek üzere olduğu görülmektedir. DSDV protokolünde ise ikinci düğüm hariç, tüm düğümler üzerinde toplam kalan enerji miktarı diğer protokollere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.9. Kontrol mesaj paket sayıları

Mesaj Ek Yüğü				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	5	18	80
	Alınan	18	59	219
	Yönlendirilen	3	6	0
	Toplam	26	83	299

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.9.'da toplam adetleri belirtilmektedir.

QEAODV protokolünün simülasyon süresince yol kurulumu için toplamda yirmi altı adet mesaj kullandığı görülmektedir.

AODV protokolü yol kurulumunu düğümlerin enerji seviyelerini gözetmeksizin gerçekleştirdiğinden dolayı, kurulan yol üzerindeki düğüm enerjisinin tükenmesi sebebiyle tekrardan yol kurulumu gerçekleştirmektedir. Yol kurulumunun tekrar etmesi ağdaki mesaj ek yükünü de arttırmaktadır. AODV yol kurulumları ile ilgili toplamda 83 adet mesaj kullanılmaktadır.

DSDV protokolünün ise toplam 299 mesaj ek yüküne sahip olduğu ve karşılaştırılan protokoller arasında en fazla mesaj ek yükü olduğu görülmektedir.

Tablo 5.10. Paket teslim oranları

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	8334	8334	8334
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	5550	5540	1266
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	0	9	2503
Paket teslim oranı			%66,59	%66,32	%15,19
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			42,61	42,54	9,72
Ortalama Uçtan Uca Gecikme (ms)			3922,56	3360,37	1979,7

Uygulama katmanı tarafından oluşturulan CBR veri paketlerinin kaynak düğümden gönderilmesi ve hedef düğüm tarafından başarılı bir şekilde alınması yönlendirme protokolünün en önemli başarımlı ölçütlerindendir. QEAODV protokolü hiç paket kaybı yaşamadan tüm paketleri teslim edebilmiştir. Buna karşın AODV protokolü 9, DSDV protokolü ise 2503 adet veri paketi düşürmüştür. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.10.'de gösterilmektedir. QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %0,27 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansının ise toplam ağ çıkışı olarak %15,19 ile en düşük olduğu görülmektedir.

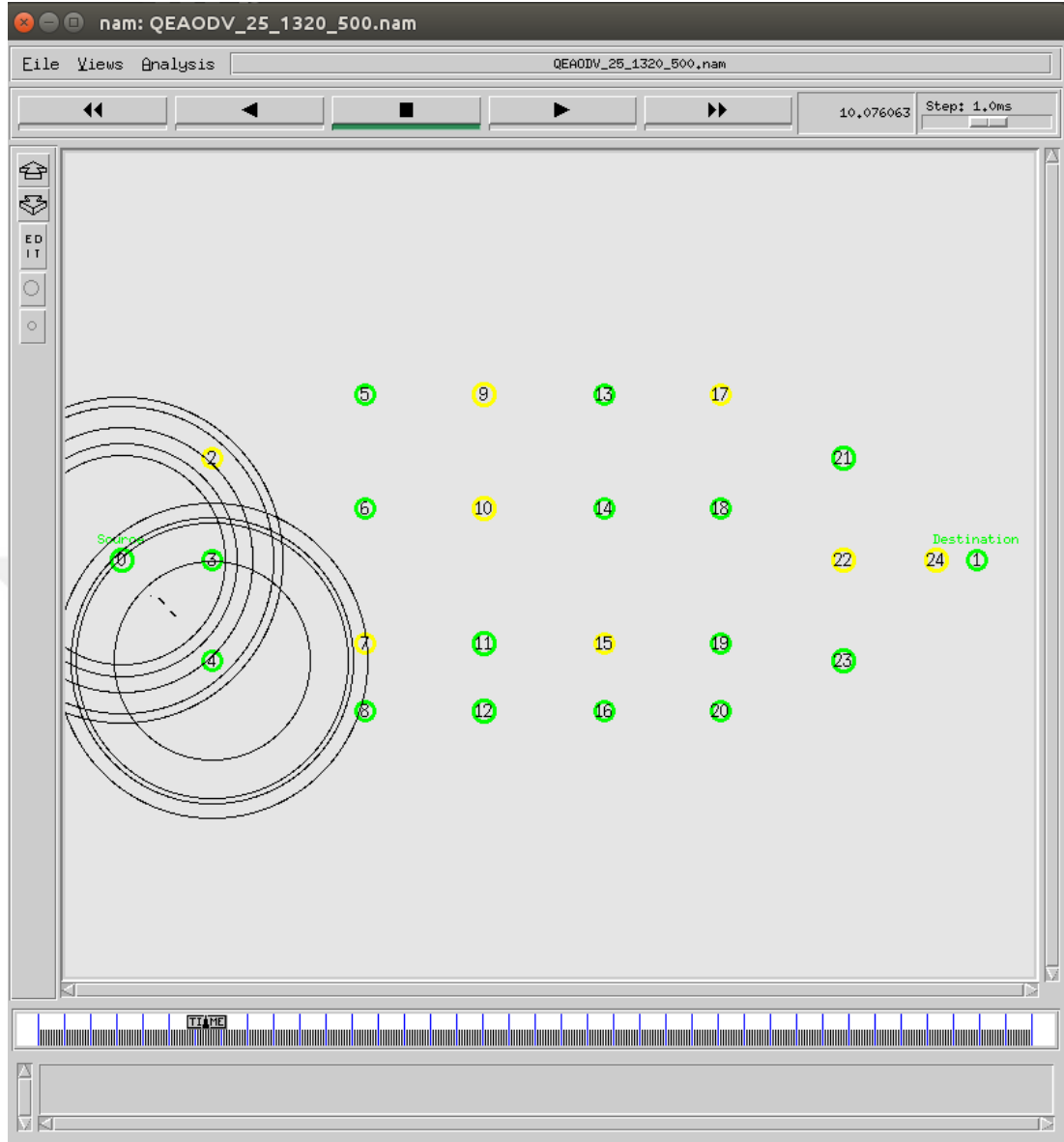
5.3.3. 25-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi

Orta ölçekli bir MANET modeli tasarlanmış ve protokollerin artan boyut karşısındaki performansı Tablo 5.11.'de verilen simülasyon parametreleri ile çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.11. 25-Düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınımlı Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	1320 m * 500 m
Düğüm Sayısı	25
Düğüm İlk Enerjileri	150, 150, 15, 40, 100, 40, 40, 15, 100, 15, 15, 40, 100, 40, 30, 15, 100, 15, 40, 40, 100, 40, 15, 100, 15
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	48 byte (384 bit)
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	$64000/384 = 166,6$ Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümlerin Kapsama Alanları	250 m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	10 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Tablo 5.11.'de yirmi beş düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri gösterilmektedir.



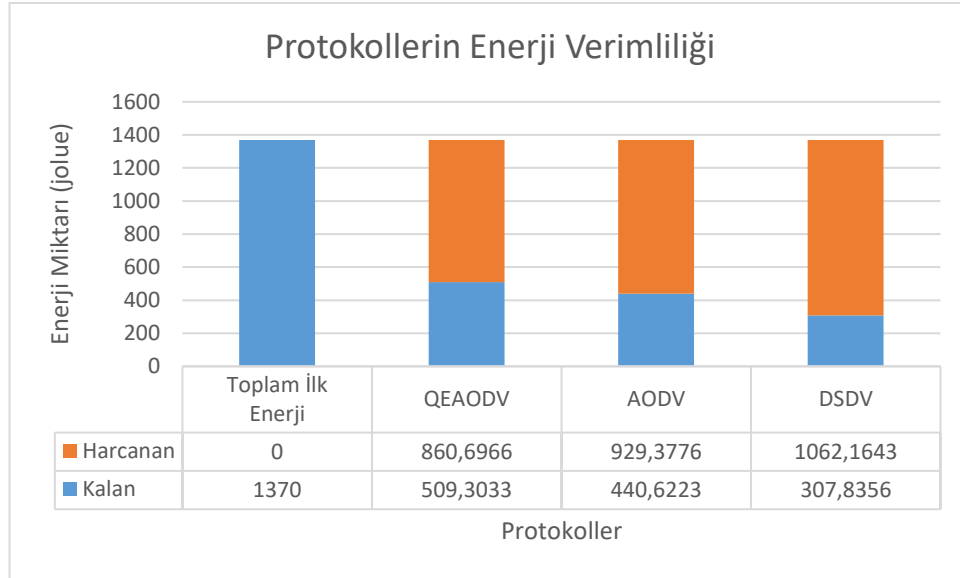
Şekil 5.5. QEAODV 25 düğümden oluşan simülasyon deneyi

Şekil 5.5.'de QEAODV protokolünün yirmi beş düğümden oluşan bir MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, bir numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler sırasıyla 150, 150, 15, 40, 100, 40, 40, 15, 100, 15, 15, 40, 100, 40, 30, 15, 100, 15, 40, 40, 100, 40, 15, 100 ve 15 joule olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumlarının değişmediği ve hareketsiz olarak durdukları varsayılmıştır.

Tablo 5.12. Enerji tüketim değerleri

ID	İlk Enerji (Joule)	QEAODV		AODV		DSDV	
		Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan
0	150	59,345	90,655224	59,383	90,617133	74,140	75,859726
1	150	59,360	90,640232	59,396	90,604481	74,367	75,633436
2	15	14,020	0,979621	14,249	0,750775	14,617	0,383455
3	40	39,201	0,799267	39,334	0,666154	38,134	1,865989
4	100	59,344	40,656477	59,382	40,618466	73,460	26,539617
5	40	26,012	13,988288	39,013	0,987282	36,893	3,106948
6	40	26,013	13,986914	39,018	0,981842	38,898	1,102063
7	15	14,028	0,972076	14,220	0,78018	14,617	0,383455
8	100	59,320	40,680055	59,356	40,644224	75,643	24,357382
9	15	14,064	0,935971	14,024	0,97602	14,617	0,383455
10	15	14,065	0,935255	14,022	0,978351	14,617	0,383455
11	40	39,025	0,974841	39,029	0,971401	39,295	0,705065
12	100	59,330	40,670109	59,366	40,634338	75,057	24,943437
13	40	26,059	13,940806	39,055	0,945495	38,721	1,279029
14	30	26,062	3,938039	29,059	0,940517	27,226	2,774065
15	15	14,064	0,935971	14,029	0,971262	14,792	0,207761
16	100	59,340	40,660344	59,375	40,624633	80,796	19,204234
17	15	14,064	0,935971	14,044	0,955722	14,102	0,897711
18	40	26,062	13,938038	39,056	0,943872	39,176	0,824253
19	40	39,031	0,969133	39,044	0,956202	39,295	0,705064
20	100	59,350	40,650178	59,385	40,614507	75,643	24,357382
21	40	26,057	13,94262	39,052	0,947853	38,721	1,279029
22	15	14,061	0,938842	14,047	0,952777	14,272	0,727689
23	100	59,360	40,640231	59,396	40,60448	80,796	19,204234
24	15	14,061	0,938842	14,046	0,954419	14,272	0,727688
Toplam		860,696655		929,377614		1.062,164378	

Simülasyon sonunda düğümlerin ilk enerjileri, harcanan enerjileri ve kalan enerjileri Tablo 5.12.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam harcanan ve kalan enerji miktarları Şekil 5.6.'daki grafikte gösterilmektedir. QEAODV protokolünün genel anlamda diğerlerine göre daha az toplam enerji harcadığı görülmektedir. Buna karşın AODV protokolü yaklaşık 68,70 joule daha fazla enerji harcadığı görülmektedir. DSDV protokolü enerji verimliliği açısından oldukça fazla toplam enerji harcadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.13. Kontrol mesaj paket sayıları

Mesaj Ek Yüğü				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	437	482	278
	Alınan	1407	1439	901
	Yönlendirilen	147	192	0
	Toplam	1991	2113	1179

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.13.'de toplam adetleri belirtilmektedir. QEAODV protokolü, simülasyon süresince yol kurulumu için toplamda bin dokuz yüz doksan bir adet mesaj paketi kullandığı görülmektedir. Buna karşılık AODV protokolü; QEAODV protokolünden yüz yirmi iki adet daha fazla

mesaj paketi kullandığı görülmektedir. DSDV protokolü en az mesaj ek yükü olduğu görülmektedir, fakat bu anlamda başarılı gibi görünse de aslında ağda hiç yol kuramamış olması sebebiyle herhangi bir veri transferi gerçekleştirememiştir.

Tablo 5.14. Paket teslim oranları

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	400	400	400
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	299	286	0
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	0	9	400
Paket teslim oranı			%74,75	%71,50	%0
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			53,72	55,45	0
Ortalama uçtan uca gecikme (ms)			317,184	318,041	0

QEAODV protokolü yüz bir adet paket haricindeki diğer paketleri teslim edebilmiştir. Buna karşın AODV protokolü yüz on dört, DSDV protokolü ise dört yüz adet veri paketini iletememiştir. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.14.'te gösterilmektedir. QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %3,25 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansı ise herhangi bir yol kurulumu veya veri transferi gerçekleştiremediğinden sıfır olduğu görülmektedir.

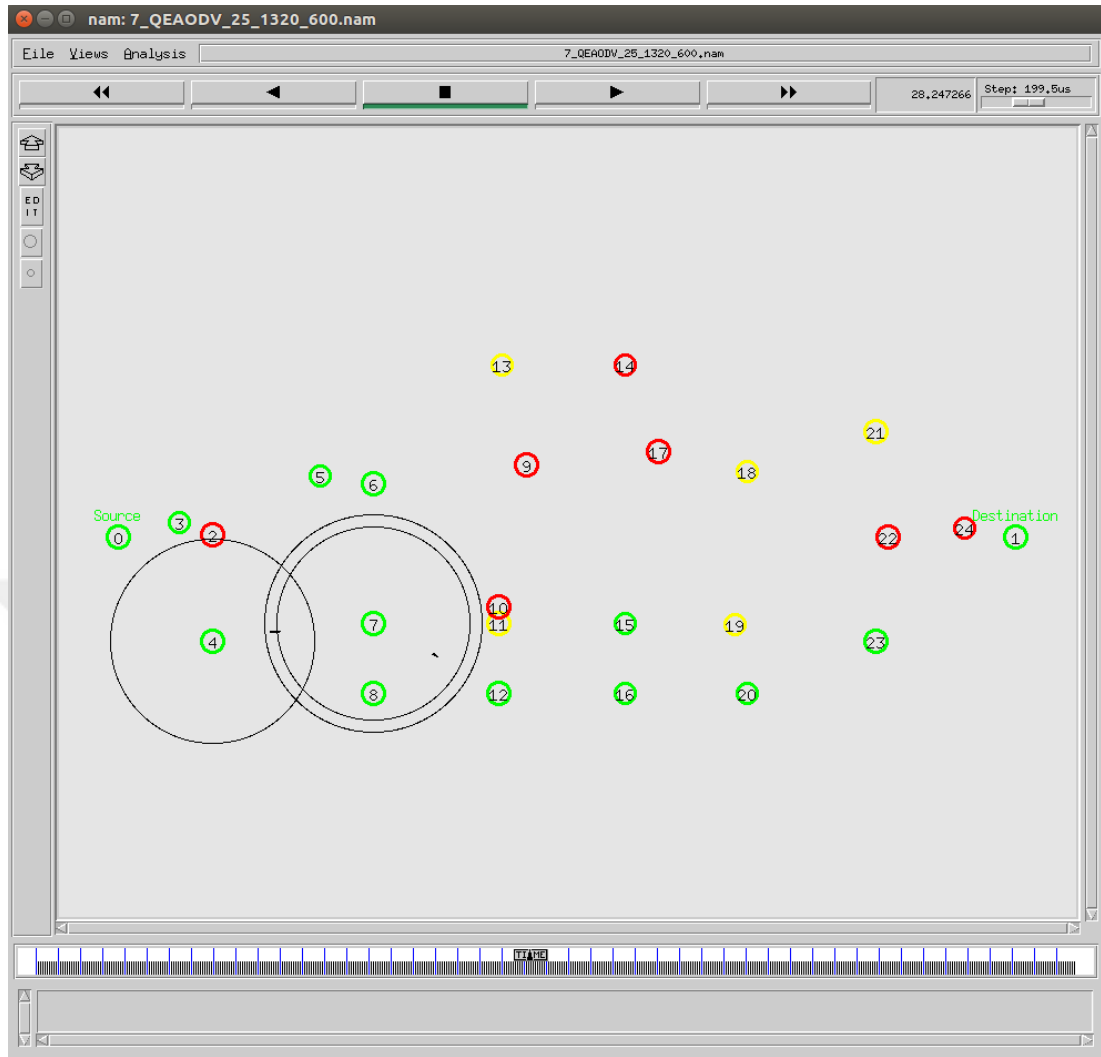
5.3.4. 25-düğümlü hareketli MANET modeli deneyi

Orta ölçekli hareketli bir MANET modeli tasarlanmış ve protokollerin artan boyut karşısındaki performansı Tablo 5.15.'de verilen simülasyon parametreleri ile çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.15. 25-Düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınımlı Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	1320 m * 500 m
Düğüm Sayısı	25
Düğüm İlk Enerjileri	150, 150, 15, 40, 100, 40, 40, 150, 100, 15, 15, 40, 100, 40, 30, 150, 100, 15, 40, 40, 100, 40, 15, 100, 15
Hareket Modeli	Rastgele Yol Noktası
Düğüm Hızları	1-10 m/sn
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	48 byte (384 bit)
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	$64000/384 = 166,6$ Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümlerin Kapsama Alanları	250 m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	10 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Tablo 5.15.'de yirmi beş düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri gösterilmektedir.



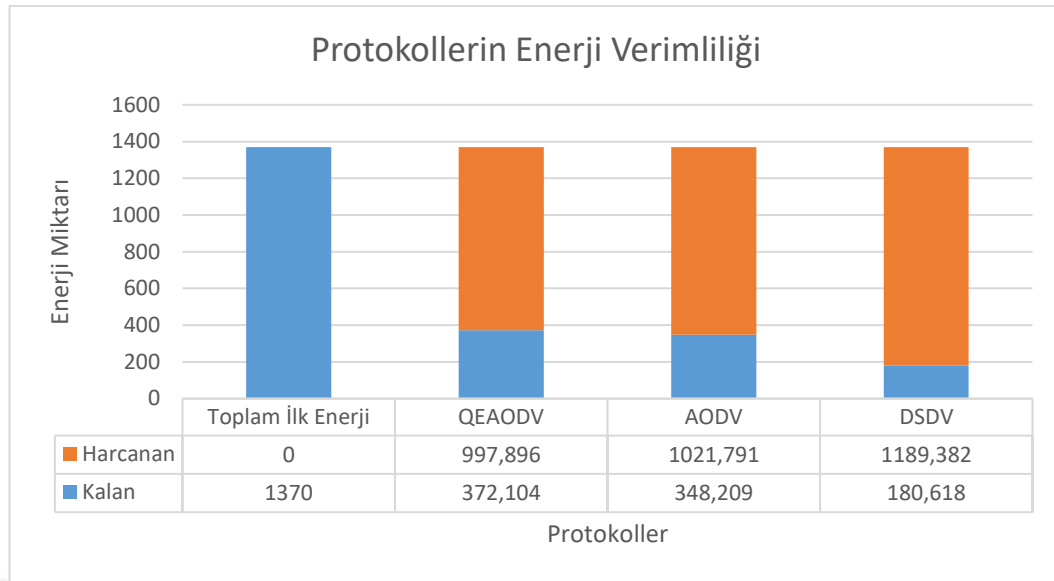
Şekil 5.7. QEAODV 25 düğümde oluşan hareketli simülasyon deneyi

Şekil 5.5.'de QEAODV protokolünün yirmi beş düğümde oluşan bir hareketli MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, bir numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler sırasıyla 150, 150, 15, 40, 100, 40, 40, 150, 100, 15, 15, 40, 100, 40, 30, 150, 100, 15, 40, 40, 100, 40, 15, 100 ve 15 joule olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumları onuncu saniyeden itibaren hızları bir ve on metre/saniye olmak üzere farklı yönlerde rastgele hareket etmektedir.

Tablo 5.16. Enerji tüketim değerleri

ID	İlk Enerji	QEAODV		AODV		DSDV	
	(Joule)	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan	Harcanan	Kalan
0	59,279	90,721	59,363	90,637	74,033	75,967	59,279
1	59,346	90,654	59,450	90,550	73,117	76,883	59,346
2	14,033	0,967	14,725	0,275	14,075	0,925	14,033
3	38,003	1,997	39,167	0,833	39,052	0,948	38,003
4	59,257	40,743	59,362	40,638	81,037	18,963	59,257
5	38,006	1,994	39,167	0,833	39,061	0,939	38,006
6	38,006	1,994	39,014	0,986	38,895	1,105	38,006
7	59,009	90,991	59,020	90,980	76,975	73,025	59,009
8	59,267	40,733	59,410	40,590	81,037	18,963	59,267
9	14,028	0,972	14,753	0,247	14,541	0,459	14,028
10	14,028	0,972	14,527	0,473	14,546	0,454	14,028
11	38,022	1,978	39,026	0,974	39,713	0,287	38,022
12	59,287	40,713	59,419	40,581	81,037	18,963	59,287
13	34,018	5,982	39,013	0,987	38,359	1,641	34,018
14	29,041	0,959	28,034	1,966	27,239	2,761	29,041
15	59,021	90,979	59,036	90,964	74,118	75,882	59,021
16	59,327	40,673	59,430	40,570	74,118	25,882	59,327
17	14,043	0,957	14,536	0,464	14,102	0,898	14,043
18	34,042	5,958	39,044	0,956	39,962	0,038	34,042
19	38,025	1,975	39,035	0,965	39,713	0,287	38,025
20	59,337	40,663	59,440	40,560	73,079	26,921	59,337
21	34,040	5,960	39,043	0,957	39,713	0,287	34,040
22	14,043	0,957	14,783	0,217	14,270	0,730	14,043
23	59,346	40,654	59,450	40,550	73,319	26,681	59,346
24	14,043	0,957	14,543	0,457	14,270	0,730	14,043
Toplam		997,896		1021,791		1189,382	

Simülasyon sonunda düğümlerin ilk enerjileri, harcanan enerjileri ve kalan enerjileri Tablo 5.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam harcanan ve kalan enerji miktarları Şekil 5.8.'daki grafikte gösterilmektedir. QEAODV protokolünün genel anlamda diğerlerine göre daha az toplam enerji harcadığı görülmektedir. Buna karşın AODV protokolü yaklaşık 23,89 joule daha fazla enerji harcadığı görülmektedir. DSDV protokolü enerji verimliliği açısından oldukça fazla toplam enerji harcadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.17. Kontrol mesaj paket sayıları

Mesaj Ek Yüğü				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	445	614	313
	Alınan	1661	2281	1155
	Yönlendirilen	171	205	0
	Toplam	2277	3100	1468

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.17.'de toplam adetleri belirtilmektedir. QEAODV protokolü, simülasyon süresince yol kurulumu için toplamda 2277 adet mesaj paketi kullandığı görülmektedir. Buna karşılık AODV protokolü; QEAODV protokolünden 823 üç adet daha fazla mesaj paketi kullandığı

görülmektedir. DSDV protokolü en az mesaj ek yükü olduğu görülmektedir, fakat bu anlamda başarılı gibi görünse de aslında ağda hiç yol kuramamış olması sebebiyle herhangi bir veri transferi gerçekleştirememiştir.

Tablo 5.18. Paket teslim oranları

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	400	400	400
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	319	274	0
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	81	126	400
Paket teslim oranı			%79,75	%68,50	%0
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			52,13	44,68	0
Ortalama uçtan uca gecikme (ms)			302,477	298,699	0

QEAODV protokolü 81 adet paket haricindeki diğer paketleri teslim edebilmiştir. Buna karşın AODV protokolü 126, DSDV protokolü ise 400 adet veri paketini iletememiştir. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.18.'de gösterilmektedir. QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %11,25 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansı ise herhangi bir yol kurulumu veya veri transferi gerçekleştiremediğinden sıfır olduğu görülmektedir.

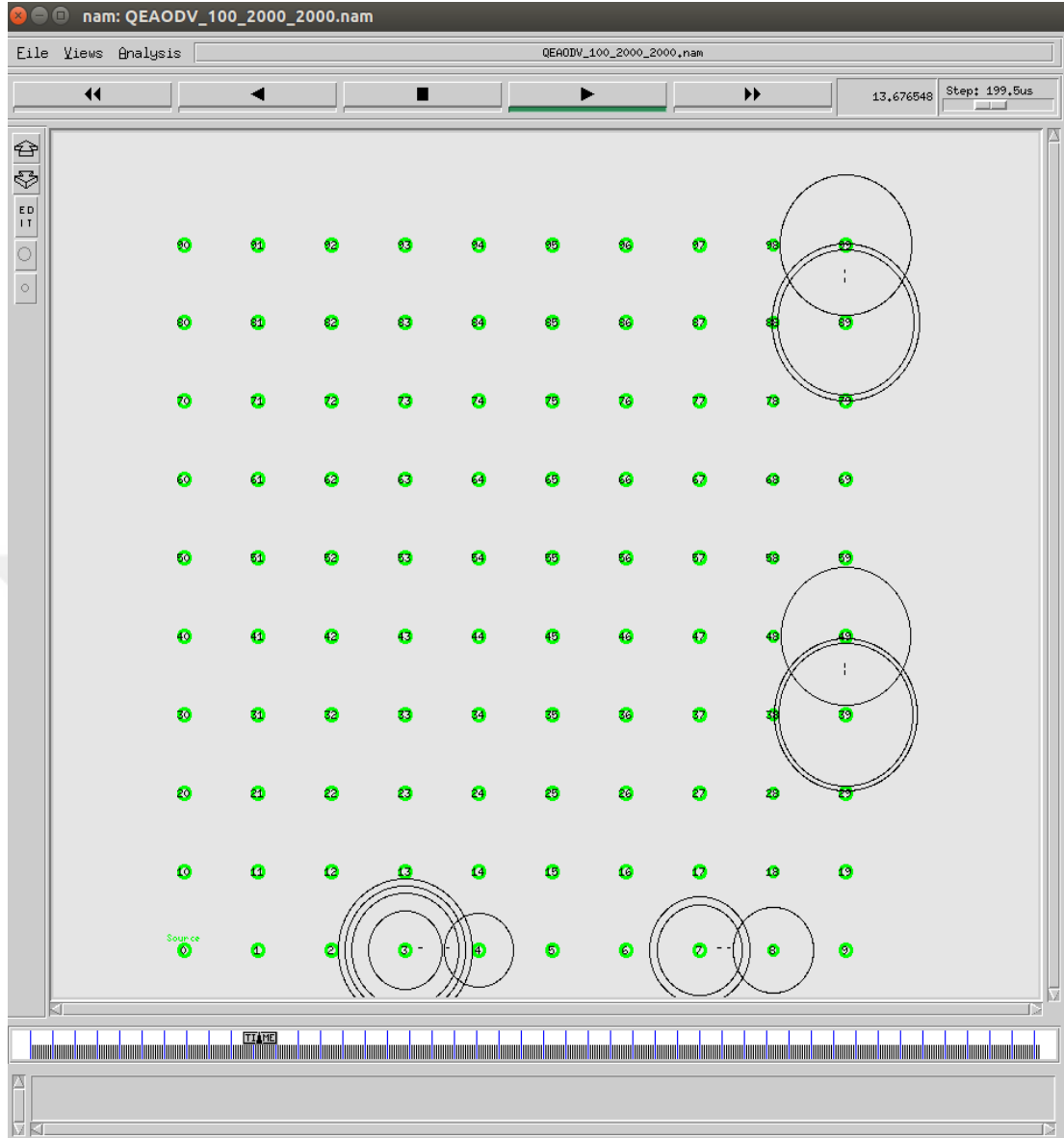
5.3.5. 100-düğümlü hareketsiz MANET modeli deneyi

Büyük ölçekli ağlarda protokollerin performansını ölçmek için MANET'lerde 100 düğümden oluşan bir ızgara ağ modeli tasarlanmıştır.

Tablo 5.19. 100-Düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri

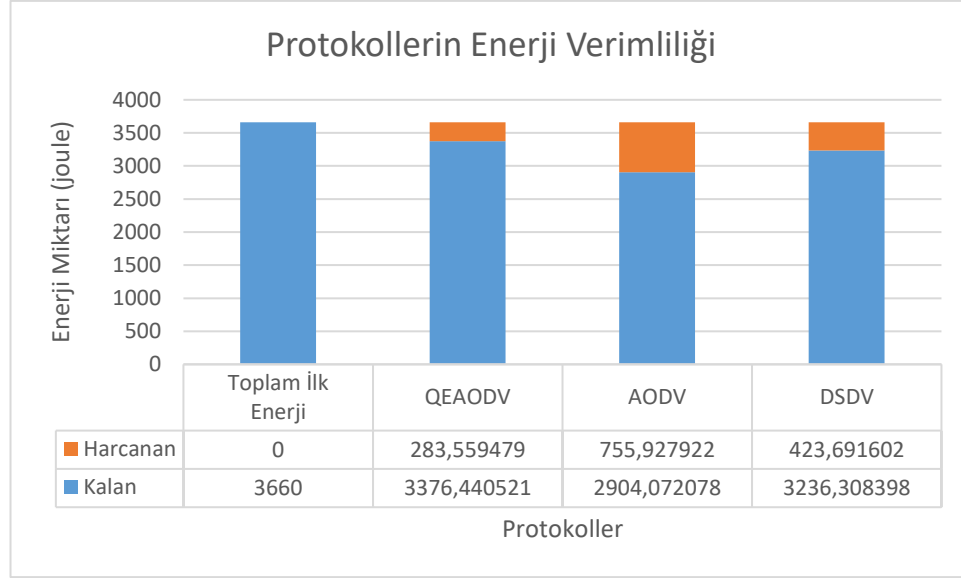
Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınımlı Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	2000 m * 2000 m
Düğüm Sayısı	100
Düğüm İlk Enerjileri	[0-9] =150 [19,29,39,49,59,69,79,89,99]=150 Diğerleri=10
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	8000 bit
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	64000/8000= 8 Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümlerin Kapsama Alanları	250 m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	10 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Tablo 5.19.'da yüz düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 5.9. QEAODV 100 düğümden oluşan simülasyon deneyi

Şekil 5.9.'da QEAODV protokolünün yüz düğümden oluşan bir MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, doksan dokuz numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler $[0-9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99] = 150$, diğerleri = 10 olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumlarının değişmediği ve hareketsiz olarak durdukları varsayılmıştır.



Şekil 5.10. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam harcanan ve kalan enerji miktarları Şekil 5.10.'daki grafikte gösterilmektedir. QEAODV protokolü genel anlamda diğerlerine göre daha az enerji harcadığı görülmektedir. Buna karşın AODV protokolü tüm protokoller arasında en fazla enerji harcamıştır. DSDV protokolünde ise toplam harcanan enerji yaklaşık 424 joule'dur. DSDV enerji harcamasına rağmen herhangi bir veri paketi hedef düğüme ulaştıramamıştır.

Tablo 5.20. Kontrol mesaj paket sayıları

Mesaj Ek Yüğü				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	146	1195	2373
	Alınan	496	4064	8357
	Yönlendirilen	119	243	0
	Toplam	761	5502	10730

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.20.'de toplam adetleri belirtilmektedir. QEAODV protokolünde simülasyon süresince yol kurulumu için toplamda 761 adet mesaj paketi kullandığı görülmektedir. Buna karşılık AODV

protokolü; 5502 adet mesaj paketi kullandığı görülmektedir. DSDV protokolünde ise en fazla mesaj ek yükü olduğu görülmektedir, bu kadar mesaj ek yükü getirmesine karşın herhangi bir veri paketi hedefe ulaştıramamıştır.

Tablo 5.21. Paket teslim oranları

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	400	400	400
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	394	366	0
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	6	34	400
Paket teslim oranı			%98,55	%91,50	%0
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			63,78	59,22	0
Ortalama uçtan uca gecikme (ms)			294,57	298,85	0

QEAODV protokolü 6 adet paket kaybı yaşayarak hedefe paketleri teslim edebilmiştir. Buna karşın AODV protokolü 9, DSDV protokolü ise 400 adet veri paketi düşürmüştür. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.21.'de gösterilmektedir. QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %7,05 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansı ise herhangi bir yol kurulumu veya veri transferi gerçekleştiremediğinden sıfır olduğu görülmektedir.

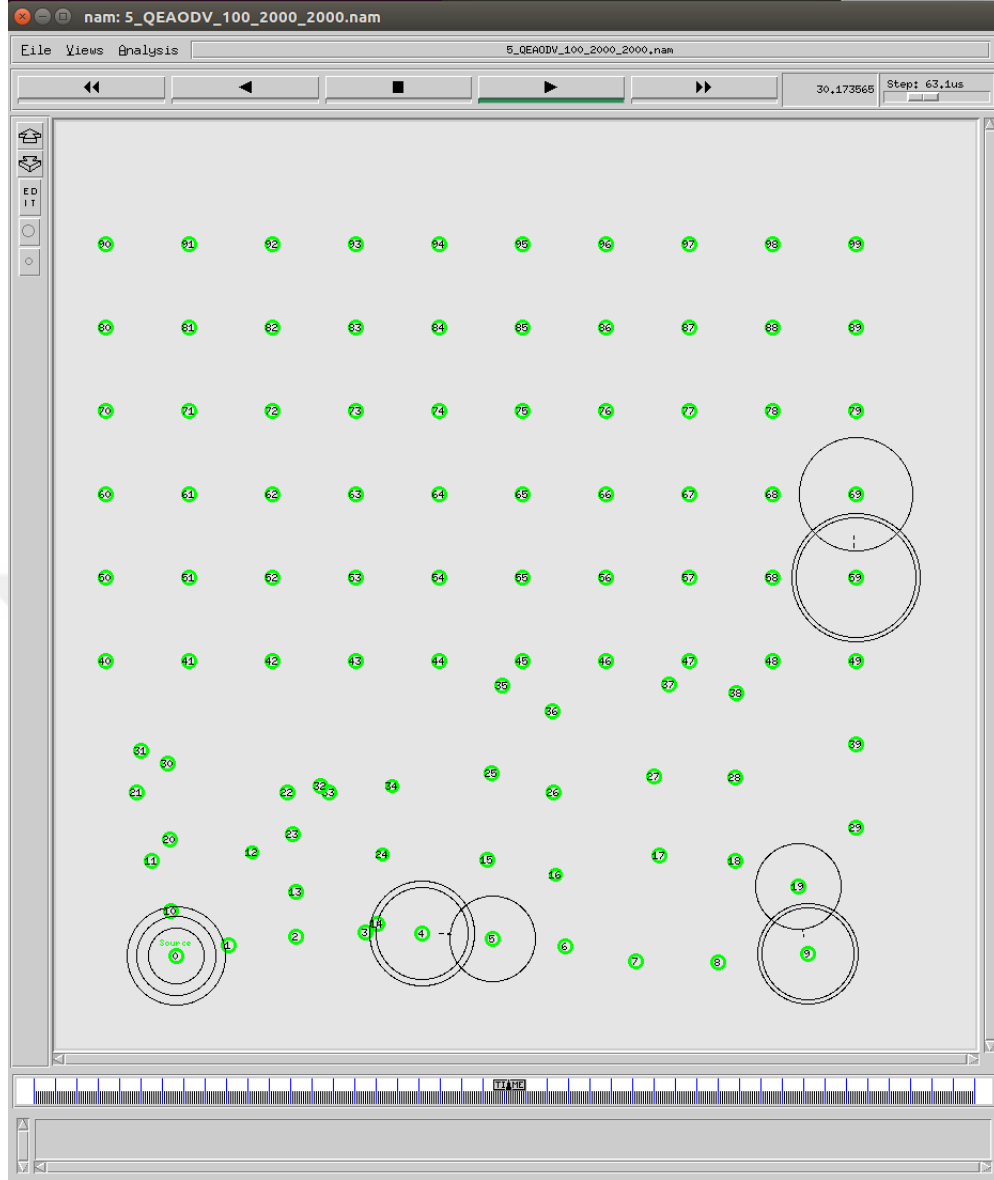
5.3.6. 100-düğümlü hareketli MANET modeli deneyi

Büyük ölçekli ağlarda protokollerin performansını ölçmek için MANET'lerde hareketli 100 düğümden oluşan bir ızgara ağ modeli tasarlanmıştır.

Tablo 5.22. 100-Düğümlü hareketli MANET modeli simülasyon parametreleri

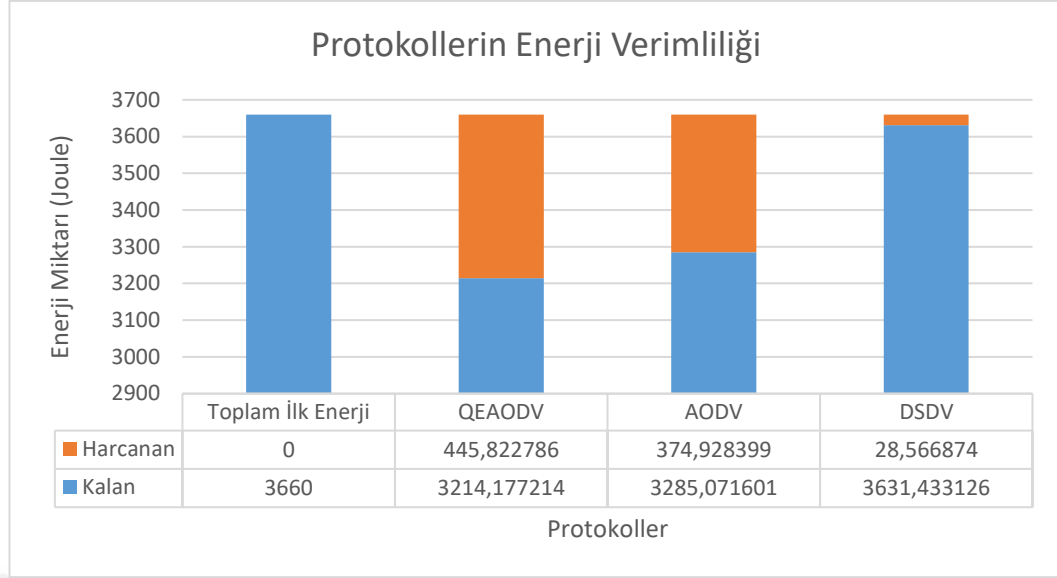
Parametre	Değer
Kanal	Kablosuz
Radyo Yayılım Modeli	İki Işınımli Zemin
Anten	Omni Anten
Kuyruk Tipi	DropTail/PriQueue
Kuyruk Uzunluğu	50 Paket
Ağ Arayüz Tipi	Kablosuz Fiziksel
MAC	IEEE 802.11
Yönlendirme Protokolü	QEAODV
Simülasyon Süresi	60 sn
Simülasyon Alanı	2000 m * 2000 m
Düğüm Sayısı	100
Düğüm İlk Enerjileri	[0-9] =150 [19,29,39,49,59,69,79,89,99]=150 Diğerleri=10
Hareket Modeli	Rastgele Yol Noktası
Düğüm Hızları	1-10 m/sn
Trafik Tipi	CBR
Paket Boyutu	8000 bit
Veri Hızı	64000 bit
1 Saniyede Üretilen Paket Sayısı	64000/8000= 8 Paket
Trafik Başlangıç ve Bitiş Zamanı	10 sn – 60 sn
Düğümlerin Kapsama Alanları	250 m
Paket Gönderimi için Gerekli Minimum Enerji	10 joule
Minimum Bağlantı Yaşam Süresi	10 sn

Tablo 5.22.'de 100 düğümlü hareketsiz MANET modeli simülasyon parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 5.11. QEAODV 100 düğümden oluşan hareketli simülasyon deneyi

Şekil 5.11.'de QEAODV protokolünün yüz düğümden oluşan hareketli bir MANET ağı simülasyonu gösterilmektedir. Ağda bulunan sıfır numaralı düğüm kaynak, doksan dokuz numaralı düğüm ise hedef düğümdür. Düğümler $[0-9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99] = 150$, diğerleri $= 10$ olmak üzere ilk enerji seviyelerine sahiptirler. Bu simülasyonda düğümlerin konumlarının 1-10 m/sn hız aralıklarında ve rastgele yönlerle doğru hareket etmektedir.



Şekil 5.12. Protokollerin toplam harcanan ve kalan enerji grafiği

Ağda bulunan her bir düğümün QEAODV, AODV ve DSDV protokollerini kullandıklarında toplam harcanan ve kalan enerji miktarları Şekil 5.12.'deki grafikte gösterilmektedir. QEAODV protokolü genel anlamda diğerlerine göre en çok enerji harcadığı görülmektedir. Buna karşın DSDV protokolü tüm protokoller arasında en az enerji harcamıştır. AODV protokolünde ise toplam harcanan enerji yaklaşık 375 joule'dur. DSDV enerji harcamasına rağmen herhangi bir veri paketi hedef düğüme ulaştıramamıştır.

Tablo 5.23. Kontrol mesaj paket sayıları

Mesaj Ek Yüğü				
Katman	Etkinlik	QEAODV	AODV	DSDV
RTR	Gönderilen	410	3449	2684
	Alınan	1832	14080	12671
	Yönlendirilen	325	553	0
	Toplam	2567	18082	15355

Yönlendirme katmanında protokolün yol kurulumu ile ilgili olarak kullandığı mesaj paketlerinin gönderilen, alınan ve yönlendirilen olmak üzere Tablo 5.23.'de toplam adetleri belirtilmektedir. QEAODV protokolünde simülasyon süresince yol kurulumu

için toplamda 2567 adet mesaj paketi kullandığı görülmektedir. Buna karşılık DSDV protokolü; 15355 adet mesaj paketi kullandığı ve bu kadar mesaj ek yükü getirmesine karşın herhangi bir veri paketi hedefe ulaştıramadığı görülmektedir. AODV protokolünde ise en fazla mesaj ek yükü olduğu görülmektedir.

Tablo 5.24. Paket teslim oranları

Etkinlik	Katman	Trafik	QEAODV	AODV	DSDV
Kaynak düğüm 0 tarafından gönderilen	AGT	CBR	400	400	400
Hedef düğüm 1 tarafından alınan	AGT	CBR	343	280	0
Düşürülen paket sayısı	RTR	CBR	57	120	400
Paket teslim oranı			%85,75	%70	%0
Ortalama ağ çıkışı (kbps)			55,64	45,47	0
Ortalama uçtan uca gecikme (ms)			457,45	479,85	0

QEAODV protokolü 57 adet paket kaybı yaşayarak hedefe paketleri teslim edebilmiştir. Buna karşın AODV protokolü 120, DSDV protokolü ise 400 adet veri paketi düşürmüştür. Paket teslim oranları, ortalama ağ çıkışı ve ortalama uçtan uca gecikme miktarları Tablo 5.24.'de gösterilmektedir. QEAODV protokolü, AODV protokolüne göre %15,75 oranında daha verimli paket teslim oranına sahip olduğu görülmektedir. DSDV protokolünün performansı ise herhangi bir yol kurulumu veya veri transferi gerçekleştiremediğinden sıfır olduğu görülmektedir.

5.4. Değerlendirme

MANET'lerde QEAODV, AODV ve DSDV protokollerinin küçük, orta ve büyük ölçekli ağlarda yapılan simülasyonlar sonucunda QEAODV protokolü diğerlerine göre daha performanslı çalıştığı görülmüştür. Yol kurulumlarında enerji seviyeleri ve bağlantı yaşam süreleri uygun olan düğümlerin kullanılması hem istikrarlı yolların seçilmesine hem de ağın genel performansına katkı sağladığı görülmüştür. QEAODV protokolü diğerlerine göre daha az mesaj ek yüküne sahip olduğu ve veri paketleri iletimlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği görülmüştür.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

MANET'ler için QoS protokolleri tasarlamak oldukça zor olmasına karşın, araştırmacılar için popüler bir araştırma konusu olmuştur. MANET'lerin gelecekteki iletişim ağlarında daha çok yaygınlaşacağına inanılmaktadır. Birçok araştırmacı, literatürdeki birçok önemli QoS tabanlı yönlendirme protokolü sorununu ve zorluklarını incelemiştir. Bununla birlikte, günümüzde MANET'lerin kullanımının sürekli artması ile QoS tabanlı yönlendirme protokolünde daha fazla araştırma gerektiren yeni konular bulunabilmektedir.

Bu çalışmada MANET'lerde QoS tabanlı yönlendirme protokollerinin ana noktaları incelenmiştir. Bu alanda yapılmış akademik çalışmalar ve önemli ilerlemeleri kapsayacak birçok farklı yaklaşım göz önünde bulundurulmuştur. Her bir protokolün karakteristik özellikleri tanımlanmıştır. Tüm bu protokoller; QoS yönlendirme stratejisi, yönlendirme bilgi güncelleme mekanizması, ağ ve MAC katmanı arasındaki etkileşim, QoS kısıtlamaları, QoS garanti tipi ve keşfedilen yol sayısı olarak altı ana kategori ve on dört alt kategoride sınıflandırılmıştır. Böylece, her protokolün farklı karakteristikleri ve performans özellikleri ayırt edilebilmektedir. Bu araştırma MANET'ler için yalnızca QoS tabanlı yönlendirme protokollerine odaklanmaktadır. Benzer yaklaşımları içeren protokolleri ve bu protokollerin farklılıkları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma belirli bir QoS tabanlı protokolleri kapsamaktadır. Bu çalışmada, pil gücü, bant genişliği, minimum paket kayıp oranı, gecikme, verim, bağlantı kararlılığı, tampon dolgunluğu ve minimum atlama gibi tekli veya çoklu QoS ölçümlerini destekleyen protokoller sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda bant genişliği, pil gücü, bağlantı kararlılığı, gecikme gibi QoS ölçümlerini göz önünde bulundurularak, AODV yönlendirme protokolünün geliştirilmesi gerektiği öngörülmüştür.

Bu çalışmada MANET’lerde QoS tabanlı bir yönlendirme protokolü tasarlanmış ve NS2 ile farklı ölçekteki ağlarda simülasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonuçları karşılaştırılırken paket alım oranı, uçtan uca gecikme, ortalama adım sayısı, mesaj ek yükü, enerji verimliliği gibi yönlendirme protokollerinin istikrarını ve güvenliğini değerlendirmede önemli parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

Simülasyon sonuçlarına göre QoS tabanlı parametrelerin göz önünde bulundurularak yol seçiminin gerçekleştirilmesi genel ağ performansını olumlu yönde etkilemiştir. Yol boyunca minimum gereksinim olarak enerji ve bağlantı yaşam süreleri dikkate alındığından, kurulan yollar daha düşük olasılıkla kopmaktadır. Yolların istikrarlı hale gelmesiyle uçtan uca gecikme ve paket kayıpları da büyük oranda azaltılmıştır. Böylece kaynak düğümde üretilen ve hedef düğüme gönderilen veri paketleri istikrarlı yollar üzerinden gittiğinden oldukça iyi ağ çıkışı sağlanmaktadır. Enerji seviyeleri kontrollerinin yapılması ile ağda bulunan ve enerjisi yeterli olan düğümlere yol kurma görevi verilmektedir. Ayrıca düğümlerin kapsama alanları, hızları ve konumları göz önünde bulundurularak, kapsama alanından çıkma olasılığı hesaplanmaktadır. Böylece daha uzun ömürlü düğümler kullanılarak oluşturulan yollar oldukça istikrarlı olmaktadır.

Sonuç olarak QEAODV protokolü küçük, orta ve yüksek ölçekli tasarsız ağlarda güvenilir, istikrarlı ve QoS tabanlı yönlendirme yapmaktadır. Özellikle enerji çeşitliliği ve kapsama alanlarının farklı olduğu cihazların oluşturduğu ağlarda, karşılaştırılan AODV ve DSDV protokollerine nazaran daha başarılı çalışmaktadır.

İnternet veya GSM gibi altyapılı ağ sistemleri olmadan haberleşme ihtiyacının artmasıyla birlikte MANET’lerin daha yaygın olarak farklı uygulamalar için kullanımı, QoS tabanlı yönlendirme protokolleri geliştirilmesi ve bu alanda daha fazla araştırmalar yapılması gerekecektir. QoS yönlendirme protokolleri yol bozunumlarına karşı daha güçlü olmalıdır. Ayrıca bilgi güvenliğinin de yer aldığı protokol tasarımları gelecekte yaygın araştırma konusu olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] L. Hanzo and R. Tafazolli, "A survey of QoS routing solutions for mobile ad hoc networks," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 9, no. 2, pp. 50–70, Jan. 2007.
- [2] C. Yahaya, M. S. Abd Latiff, and A. B. Mohamed, "A review of routing strategies for optical burst switched networks," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 26, no. 3, pp. 315–336, Mar. 2013.
- [3] S. Chakrabarti and A. Mishra, "QoS issues in ad hoc wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 2, pp. 142–148, 2001.
- [4] S. Chen, "Routing Support for Providing Guaranteed End-To-End Quality-Of-Service," University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- [5] S. Chakrabarti and A. Mishra, "Quality of service challenges for wireless mobile ad hoc networks," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 129–153, Mar. 2004.
- [6] J. N. Al-karaki and A. E. Kamal, "Quality of Service Routing in Mobile Ad Hoc Networks : Past and Future," in *Mobile Computing Handbook*, I. Mohammad and I. Mahgoub, Eds. CRC Press, 2005.
- [7] T. B. Reddy, I. Karthigeyan, B. S. Manoj, and C. S. R. Murthy, "Quality of service provisioning in ad hoc wireless networks: a survey of issues and solutions," *Ad Hoc Networks*, vol. 4, no. 1, pp. 83–124, Jan. 2006.
- [8] S. Sridhar and R. Baskaran, "A Survey on QoS based routing protocols for MANET," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 8, no. 3, pp. 15–22, Oct. 2010.
- [9] S. G and A. Nachiappan, "A Survey of QOS Routing Protocols For Mobile Ad Hoc Network," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 125–136, Aug. 2010.
- [10] R. W. Floyd, "Algorithm 97: Shortest path," *Commun. ACM*, vol. 5, no. 6, p. 345, Jun. 1962.
- [11] M. Wang and G. Kuo, "An application-aware QoS routing scheme with improved stability for multimedia applications in mobile ad hoc networks," *Veh. Technol. Conf.*, pp. 1901–1905, 2005.

- [12] B. Kaliaperumal and A. Ebenezer, "Adaptive Core Based Scalable Multicasting Networks," in *2005 Annual IEEE India Conference - Indicon*, 2005, pp. 198–202.
- [13] P. Varshney, "An adaptive QoS routing protocol with dispersity for ad-hoc networks," in *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003. *Proceedings of the*, 2003, p. 10 pp.
- [14] S.-J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR: backup routing in ad hoc networks," in *2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Conference Record (Cat. No.00TH8540)*, 2000, vol. 3, pp. 1311–1316.
- [15] J. Liu and F. Li, "An Improvement of AODV Protocol Based on Reliable Delivery in Mobile Ad Hoc Networks," in *2009 Fifth International Conference on Information Assurance and Security*, 2009, vol. 1, pp. 507–510.
- [16] Q. Xue and A. Ganz, "Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR) in mobile ad hoc networks," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 63, no. 2, pp. 154–165, Feb. 2003.
- [17] L. Chen and W. B. Heinzelman, "QoS-aware routing based on bandwidth estimation for mobile ad hoc networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 3, pp. 561–572, Mar. 2005.
- [18] R. Sivakumar, P. Sinha, and V. Bharghavan, "CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 8, pp. 1454–1465, 1999.
- [19] H. Dhillon and H. Q. Ngo, "CQMP: a mesh-based multicast routing protocol with consolidated query packets," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2005*, 2005, vol. 4, pp. 2168–2174.
- [20] M. Sheng, H. Li, Y. Shi, and J. Li, "Delay Sensitive Adaptive Routing Protocol for ad hoc network," in *17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2003. AINA 2003.*, 2003, vol. 39, no. 1, pp. 731–736.
- [21] Hui Shen, Bingxin Shi, Ling zou, and Huazhi Gong, "A distributed entropy-based long-life QoS routing algorithm in ad hoc network," in *CCECE 2003 - Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Toward a Caring and Humane Technology (Cat. No.03CH37436)*, 2003, vol. 3, pp. 1535–1538.
- [22] J. Biswas, M. Barai, and S. K. Nandy, "Efficient hybrid multicast routing protocol for ad-hoc wireless networks," in *29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, 2004, pp. 180–187.

- [23] L. Barolli, A. Koyama, and N. Shiratori, "A QoS routing method for ad-hoc networks based on genetic algorithm," in *14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2003. Proceedings.*, 2003, pp. 175–179.
- [24] T. Sanguankotchakorn and N. Perera, "Hybrid Multi-constrained Optimal Path QoS Routing with Inaccurate Link State," in *2010 Ninth International Conference on Networks*, 2010, pp. 321–326.
- [25] Li Layuan, Li Chunlin, L. Layuan, and L. Chunlin, "A QoS multicast routing protocol for mobile ad-hoc networks," in *International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05) - Volume II*, 2005, vol. 2, no. 4, p. 609–614 Vol. 2.
- [26] R. Gupta, T. Tung, and J. Walrand, "Interference-aware QoS routing (IQRouting) for ad-hoc networks," in *GLOBECOM '05. IEEE Global Telecommunications Conference, 2005.*, 2005, vol. 5, p. 6 pp.-pp.2604.
- [27] L. A. Latiff, A. Ali, Chia-Ching Ooi, and N. Fisal, "Location-based geocasting and forwarding (LGF) routing protocol in mobile ad hoc network," in *Advanced Industrial Conference on Telecommunications/Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conference/E-Learning on Telecommunications Workshop (AICT/SAPIR/ELETE'05)*, 2005, pp. 536–541.
- [28] K. Chen and K. Nahrstedt, "Effective location-guided tree construction algorithms for small group multicast in MANET," in *Proceedings. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, 2002, vol. 3, no. 1, pp. 1180–1189.
- [29] J. A. Stine and G. de Veciana, "A Paradigm for Quality-of-Service in Wireless Ad Hoc Networks Using Synchronous Signaling and Node States," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 7, pp. 1301–1321, Sep. 2004.
- [30] S. H. Shah and K. Nahrstedt, "Predictive location-based QoS routing in mobile ad hoc networks," in *2002 IEEE International Conference on Communications. Conference Proceedings. ICC 2002 (Cat. No.02CH37333)*, 2002, vol. 2, pp. 1022–1027.
- [31] L. Layuan and L. Chunlin, "A QoS multicast routing protocol for dynamic group topology," *Information Sciences*, vol. 169, no. 1–2. pp. 113–130, 06-Jan-2005.
- [32] A. Munaretto and M. Fonseca, "Routing and quality of service support for mobile ad hoc networks," *Comput. Networks*, vol. 51, no. 11, pp. 3142–3156, Aug. 2007.

- [33] Yihai Zhang and T. A. Gulliver, "Quality of service for ad hoc on-demand distance vector routing," in *WiMob'2005), IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005.*, 2005, vol. 3, pp. 192–196.
- [34] A. Perti and P. Sharma, "Reliable AODV Protocol for Wireless Ad Hoc Networking," in *2009 IEEE International Advance Computing Conference*, 2009, vol. 0, no. March, pp. 675–680.
- [35] M. Veerayya, V. Sharma, and A. Karandikar, "SQ-AODV: A novel energy-aware stability-based routing protocol for enhanced QoS in wireless ad-hoc networks," in *MILCOM 2008 - 2008 IEEE Military Communications Conference*, 2008, pp. 1–7.
- [36] Y. Ping and W. Ying, "A revised AODV protocol with QoS for mobile ad hoc network," in *Proceedings - 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT 2009*, 2009, pp. 241–244.
- [37] B. C. K. B. C. Kim, H. S. L. H. S. Lee, and J. S. M. J. S. Ma, "Enhanced ad hoc on-demand distance vector (EAODV) routing protocol with route distribution," *VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd Veh. Technol. Conf. 2005.*, vol. 1, 2005.
- [38] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 8, pp. 1488–1505, 1999.
- [39] S. De, S. K. Das, H. Wu, and C. Qiao, "Trigger-Based Distributed QoS Routing in Mobile Ad Hoc," *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 6, no. 3, pp. 22–35, 2002.
- [40] A. Alexiou, C. Bouras, and A. Papazois, "A study of forward error correction for mobile multicast," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 24, no. 5, pp. 607–627, May 2011.
- [41] D. Wu, R. Wang, and Y. Zhen, "Link stability-aware reliable packet transmitting mechanism in mobile ad hoc network," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 25, no. 12, pp. 1568–1584, Dec. 2012.
- [42] G. Varaprasad, "Stable routing algorithm for mobile ad hoc networks using mobile agent," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 163–170, Jan. 2014.
- [43] S. Menaka and M. K. Jayanthi, "Adaptive and Self Healing Routing for Mobile Ad Hoc Networks Using Cross Layer Design," *J. Comput. Inf. Technol. -CIT*, 2014.
- [44] E. Weingartner, H. vom Lehn, and K. Wehrle, "A Performance Comparison of Recent Network Simulators," in *2009 IEEE International Conference on Communications*, 2009, pp. 1–5.

EKLER

EK A: NS 2 ile QEAODV Protokolünün Gerçeklenmesi

Bu bölümde QEAODV protokolü tasarlanırken NS 2.35'te yapılan kod değişiklikleri ve eklentiler anlatılmaktadır.

NS 2.35'te AODV protokolü kodları aodv.cc, aodv.h, aodv_packet.h, aodv_rqueue.h, aodv_rqueue.cc, aodv_rtable.h, aodv_rtable.cc, aodv_logs.h ve aodv_logs.cc dosyalarından oluşmaktadır. Benzer dosya yapısı kullanılarak QEAODV protokolü NS 2.35'e eklenmiştir.

QEAODV protokolü ana programı qeaodv.cc kaynak dosyasında yer aldığından en büyük değişiklik bu dosyadaki fonksiyonlarda yapılmıştır. Ayrıca qeaodv_packet.h başlık dosyası QERREQ, QERREP, QERERR ve HELLO paketlerinin tanımlarını içerdiğinden bu paketlere QEAODV protokolü için yapılan eklemeler burada yer almaktadır. QEAODV protokolü için dosyalarda yapılan değişiklikler Tablo A.1.'de verilmiştir.

Tablo EK.A.1. QEAODV protokolü yapılan değişiklikler

Dosya Adı	Veri Yapısı / Fonksiyon Adı	Yapılan Değişiklikler
qeaodv_packet.h	struct hdr_qeaodv_request	Bu yapıya yol isteği yapacak olan düğümde hesaplanan minimum gerekli enerji seviyesi, bağlantı yaşam süresi, x, y konumu, hızı, kapsama alanı bilgilerini tutan alanlar eklenmiştir.
	struct hdr_qeaodv_reply	Bu yapıya AODV'de bulunan reply paketindeki gibi tüm alanlar aynen kullanılarak herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılmıştır.
qeaodv.cc	#define min(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))	Düğümlerin kapsama alanlarını karşılaştırarak, kapsama alanı daha az olanı göz önünde bulundurmak için kullanılan fonksiyondur.
	#include "linkStability.h"	Düğümler arası bağlantı yaşam süresinin hesaplanması için gerekli olan kütüphane dosyasıdır.
	void QEAODV::rt_print(nsaddr_t node_id)	QEAODV algoritması geliştirilirken, adresi verilen düğümün yönlendirme tablosunu bir metin belgesi içerisine yazılmasını sağlayan fonksiyondur.
	void QEAODV::update_energy()	Mobil düğümlerin istenen anda enerji miktarının güncellenmesini sağlayan fonksiyondur.
	double get_covarage(WirelessPhy* physicalLayer)	Düğümünün kapsama alanlarını metre cinsinden elde etmek için kullanılan fonksiyondur. İki ışınımlı zemin yayılım modeli kullanılmıştır.
	float BYS(point Node_a, float Va, double Ta, float Ra, point Node_b, float Vb, double Tb, float Rb)	Bağlantı yaşam süresinin hesaplanması için kullanılan fonksiyondur.
	sourceNode = (MobileNode*) (Node::get_node_by_address(rq->rq_src)); Node_a.x=rq->rq_Ax; Node_a.y=rq->rq_Ay; Node_at.x=rq->rq_Dx; Node_at.y=rq->rq_Dy; Va=rq->rq_Va;1 rq_LLT=rq->rq_required_llt; Ta=getAngle(Node_a.x,Node_a.y,Node_at.x,Node_at.y);	Belirtilen mobil düğümün anlık x, y konumunu, hedef x, y konumunu, hızını, kapsama alanını ve enerjisini hesaplamak için kullanılan değişkenlerdir. Bu değişkenler anlık olarak kontrol edilerek QEAODV yönlendirme protokolüne gerekli bilgileri sağlamaktadır.
	void QEAODV::recvRequest (Packet)	Bölüm 4'de verilen QEAODV algoritması gerçekleştirilmiştir.
	void QEAODV::recvReply (Packet)	
	void QEAODV::sendRequest (nsaddr_t)	

EK B: NS 2 Genel Kütüphanesinde Yapılan Değişiklikler

QEAODV protokolünü gerçeklemek için NS 2 simülatörünün genel kütüphane dosyalarında da birtakım değişiklikler yapılmıştır. Hareketli düğümleri gerçekleyen Mobilenode nesnesine düğümün simülasyon sırasında hareket edip etmeyeceğini gösterecek bir nitelik eklenmiştir. Bu nitelik C++ ile yazılan kütüphane fonksiyonlarından OTcl ile yazılan NS simülasyon dosyalarına bağlanmıştır. .../ns-allinone-2.35/ns-2.35/common/mobilenode.h, .../ns-allinone-2.35/ns-2.35/common/mobilenode.cc ve .../ns-allinone-2.35/ns-2.35/tcl/lib/ns-default.tcl dosyalarında yapılan değişiklikler Tablo A.2’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo EK. B.1. NS 2 genel kütüphanesinde yapılan değişiklikler

Dosya Adı	Veri Yapısı / Fonksiyon Adı	Yapılan Değişiklikler
mobilenode.h	class MobileNode	Mobil düğümün anlık konumunu, hedef konumunu, hızını ve kapsama alanını, enerjisini elde etmek için bu kütüphane kullanılmaktadır.
mobilenode.cc	MobileNode:: MobileNode()	MobileNode sınıfında bulunan ve QoS parametrelerini sağlayan özellikler bu kısımda tanımlanmıştır.
qeadv.cc	QEAODV::QEAODV(nsaddr_t id) : Agent(PT_QEAODV), qtimer(this), btimer(this), htimer(this), ntimer(this), rtimer(this),lrtimer(this), rqueue()	OTCL dokümanından mobil düğümün veri transferi sırasında ihtiyaç duyduğu minimum gerekli enerji seviyesi hesaplanarak girilebilmektedir. <i>bind("require_energy_", &require_energy_);</i> Aynı şekilde minimum gerekli bağlantı yaşam süresi de hesaplanarak OTCL dokümanından girişi yapılabilmektedir. <i>bind("require_llt_", &require_llt_);</i>
ns-default.tcl	Agent/QEAODV set require_energy_ 0	Mobil düğüm oluşturulduğunda varsayılan değer olarak gerekli minimum enerji miktarı sıfır joule olarak belirlenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Selman HIZAL 02.07.1983 tarihinde Adapazarı'nda doğdu. İlk ve orta eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2001 yılında Bolu İzzet Baysal Anadolu Teknik Lisesi, Bilgisayar/Yazılım bölümünden mezun oldu. Aynı yıl SAÜ Sakarya Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümüne girdi; 2003 yılında mezun oldu. 2003-2004 eğitim-öğretim yılında Adapazarı ATSO Anadolu Ticaret Lisesinde bilgisayar öğretmeni olarak görev yaptı. 2004 yılında Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümüne girdi ve 2007 yılında mezun oldu. 2006 yaz döneminde İstanbul Mekatronik Yazılım Şirketinde yazılım geliştirici olarak çalıştı. 2006-2007 yılları arasında Kıbrıs Dr. Burhan NALBANTOĞLU Devlet Hastanesi Erken Tanı (Kanser teşhis) Merkezinde yazılım mühendisi olarak çalıştı.

2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Yüksek Lisans programını kazandı; 2009 yılında Yüksek Lisansını tamamladı.

2007 yılında Avrupa Birliği destekli Leonardo Da Vinci Hayat Boyu Öğrenme Programı LLP-LdV-TOI-2007-TR-064 EPDP isimli yurt içinden yedi ve yurt dışından ise üç ortaklı projede “Proje Koordinatörü” olarak görev yaptı.

2009 yılında Sakarya Üniversitesi Uzaktan Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Uzman olarak çalışmaya başladı. 2016 yılından itibaren aynı kurumda Müdür Yardımcısı olarak görev yapmakta olup, halen bu görevine devam etmektedir.

Selman HIZAL evli ve iki çocuk babasıdır.