



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

**MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgür ÖZKAYA
175105007**

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdülkadir TEPECİK

HAZİRAN 2020



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

**MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME
PROTOKOLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgür ÖZKAYA
175105007**

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdülkadir TEPECİK

HAZİRAN 2020

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 175105007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özgür ÖZKAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde sunmuş ve oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

İmza / Kanaati
(Kabul/Red)

Tez Danışmanı :

Jüri Üyeleri :

.....

Teslim Tarihi : 30 Haziran 2020

Savunma Tarihi : 28 Temmuz 2020



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları ve katkıları ile bana destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yunus ÖZEN ve danışmanım Doç. Dr. Abdülakdir TEPECİK'e, ayrıca bu dönemde desteklerini esirgemeyen hocalarıma, arkadaşlarıma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Özgür ÖZKAYA
(Araştırma Görevlisi)





İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.2 Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması	2
1.3 Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri.....	2
1.4 Tez Çalışmasının Katkıları.....	2
1.5 Tez Organizasyonu.....	3
2. TASARSIZ AĞLARDA YÖNLENDİRME.....	5
2.1 Giriş	5
2.2 Tasarsız Ağlarda Yönlendirme	6
2.3 Mobil Tasarsız Ağların Özellikleri ve Problemleri.....	7
2.4 Tasarsız Ağlarda Temel Algoritmalar ve Yönlendirme Protokolleri.....	7
2.4.1 Bağlantı-Durum Algoritması	8
2.4.2 Uzaklık-Vektör Algoritması	8
2.4.3 Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)	9
2.4.4 Optimized Link State Routing Protocol (OLSR).....	9
2.4.5 Wireless Routing Protocol (WRP).....	10
2.4.6 Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR)	10
2.4.7 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA).....	11
2.4.8 Zone Routing Protocol (ZRP).....	11
2.4.9 Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)	12
2.4.10 Dynamic Source Routing (DSR).....	13
2.4.11 Associativity-based Routing (ABR)	14
2.4.12 Diğer Yönlendirme Protokolleri	14



2.5 Sonuç	17
3. MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ: PRIO-AODV	19
3.1 Giriş	19
3.2 AODV ve PRIO-AODV Genel Bakış.....	19
3.2.1 PRIO-AODV Yönlendirme Tablosu Geliştirmeleri.....	22
3.2.2 PRIO-AODV Paket Geliştirmeleri.....	24
3.3 PRIO-AODV Benzetim Modeli.....	27
3.3.1 ns-3 Benzetim Yazılımı.....	28
3.3.2 PRIO-AODV Modeli	28
3.4 Sonuç.....	30
4. ÖRNEK BİR AĞ BENZETİM VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ	31
4.1 Giriş	31
4.2 Benzetim Parametreleri.....	31
4.3 Başarım Değerlendirmesi.....	32
4.4 Sonuç.....	40
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
5.1 Sonuçlar	41
5.2 Tartışma ve Öneriler	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47



KISALTMALAR

ABR	: Associativity Based Routing (Birleşirlik Temelli Yönlendirme)
AODV	: Ad Hoc On-Demand Distance Vector (Tasarsız İsteğe Bağlı Uzaklık Vektörü)
AODV-BR	: AODV with Backup Routes (Yedek Rota ile AODV)
AOMDV	: Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector (Tasarsız İsteğe Bağlı Çokyollu Uzaklık Vektörü)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CGSR	: Clusterhead Gateway Switch Routing (Kümebaşına Ağ Geçidi Anahtar Yönlendirme)
CML	: ChaMeLeon Routing Protocol (ChaMeLeon Yönlendirme Protokolü)
DSDV	: Destination Sequenced Distance Vector (Dinamik Hedef-Sıralı Uzaklık Vektör)
DSR	: Dynamic Source Routing (Dinamik Kaynak Yönlendirme)
KA	: Kablosuz Algılayıcı Ağları
KÖA	: Kablosuz Örgü Ağları
LCC	: Least Cluster Change (En Az Küme Değişimi)
LEACH	: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Protocol (Düşük Enerjili Uyarlanabilir Kümeleme Hiyerarşisi Protokolü)
MANET	: Mobile Ad Hoc Network (Hareketli Tasarsız Ağ)
MPR	: Multi-point relay (Çoklu-nokta nakilleri)
ODCR	: Opportunistic Density Cluster-Based Routing Protocol (Yoğunluk Küme Tabanlı Farkındalıklı Yönlendirme Protokolü)
OLSR	: Optimized Link State Routing Protocol (İyileştirilmiş Bağ Durumu Yönlendirme Protokolü)
OSPF	: Open Shortest Path First (En Kısa Açık Yol Algoritması)
RREP	: Route Reply (Rota Cevabı)
RREP-ACK	: Route Reply Acknowledgment (Rota Cevap Onaylama Mesajı)
RREQ	: Route Request (Rota İsteği)
RERR	: Route Error (Rota Hatası)
TEEN	: Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (Eşik Duyarlı Enerji Verimli Algılayıcı Ağ Protokolü)
TORA	: Temporally Ordered Routing Algorithm (Geçici Sıralı Yönlendirme Algoritması)
VANET	: Vehicular Ad Hoc Network (Tasarsız Araç Ağları)
WRP	: Wireless Routing Protocol (Kablosuz Yönlendirme Protokolü)
ZRP	: Zone Routing Protocol (Bölge Yönlendirme Protokolü)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1: Örnek benzetim ağı düğüm lokasyonları.....	21
Çizelge 3.2: AODV örnek benzetim sonuçları.....	22
Çizelge 3.3: PRIO-AODV örnek benzetim sonuçları.....	22
Çizelge 4.1: Benzetim ağ parametreleri.....	31
Çizelge 4.2: AODV’de değişiklik yapılan parametreler.....	32





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Örnek bir tasarsız ağ.....	5
Şekil 2.2: Yönlendirme protokolleri kategorileri.....	8
Şekil 3.1: Örnek benzetim ağ modeli.....	20
Şekil 3.2: AODV yönlendirme tablosu.....	23
Şekil 3.3: PRIO-AODV yönlendirme tablosu.....	23
Şekil 3.4: AODV RREQ mesaj formatı.....	25
Şekil 3.5: AODV RREP mesaj formatı.....	26
Şekil 3.6: IPv4 paket başlık formatı.....	27
Şekil 3.7: Başlangıç anında ağ topolojisi.....	29
Şekil 3.8: 40. saniyede ağ topolojisi.....	29
Şekil 3.9: 170. saniyede ağ topolojisi.....	30
Şekil 4.1: 10 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği.....	33
Şekil 4.2: 10 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği.....	33
Şekil 4.3: 20 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği.....	34
Şekil 4.4: 20 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği.....	34
Şekil 4.5: 30 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği.....	35
Şekil 4.6: 30 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği.....	35
Şekil 4.7: 40 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği.....	36
Şekil 4.8: 40 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği.....	36
Şekil 4.9: 50 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği.....	37
Şekil 4.10: 50 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği.....	37
Şekil 4.11: Ortalama uçtan uca gecikme grafiği.....	38
Şekil 4.12: Ortalama paket iletim oranı grafiği.....	38



MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

ÖZET

Günümüzde iletişim için birçok alanda kablosuz ağlar kullanılmaktadır. Kablosuz cihazlar arasında altyapıya dayalı iletişim kurulabildiği gibi altyapıya sahip olmadan da iletişim kurulabilmektedir. Altyapıdan bağımsız tasarsız ağlarda (Ad Hoc Network) ağ içerisindeki tüm cihazlar gerektiği durumlarda yönlendirici rolü üstlenebilmektedir. Düğümlerin hareketli de olabildiği gezgin tasarsız ağlar (Mobile Ad Hoc Networks) askeri alanlar, çevresel bilgilerin takibi, sağlık, afet durumları, akıllı araçlar, insansız hava araçları, ev uygulamaları gibi pek çok uygulama alanına sahiptir. Bu ağlarda karşılaşılan başlıca zorluklar düğümlerin hareketli olması ve kapasitelerinin kısıtlı olmasıdır. Verilerin uçtan uca hızlı ve mümkün olan en az paket kaybıyla ulaştırılması ihtiyacı da araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Acil durumlarda altyapıda oluşan problemlerden dolayı iletişim kısıtlı olabilir ya da hiç mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda gezgin tasarsız ağlar kullanılarak iletişim sağlanabilir. Bir ağ içerisinde bulunan düğümlerin temsil ettiği cihazlar ya da canlıların bir acil durum senaryosunda hedef düğüme hızlıca mesaj iletmesi gerekmektedir. Acil durumlarda bazı düğümler sürekli aktif bir iletişime ihtiyaç duyabilirler. Bu tür durumlar için öncelik farkındalıklı bir yöntem çözüm olarak tercih edilebilir. Görevi olmayan bir düğüm, çevresinde devam eden bir acil durum iletişimini yavaşlatmamak ya da engellemek için rota alternatifleri arasından en az aktif acil iletişiminin olduğu rotayı tercih etmelidir. Böylelikle önemli düğümlerin iletişimi ektilenmemiş olup, diğer düğümler de birbirleriyle iletişim kurabilirler. Bu tez çalışmasında acil durum senaryosu içeren gezgin tasarsız ağlar için öncelik farkındalıklı, AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü sunulmaktadır. Önerilen protokol çeşitli acil durum senaryolarında ns-3 benzetim ortamı kullanılarak test edilmiştir ve ağın geri kalanında da açlık oluşmasına sebep olmadan aciliyet içeren akışların uçtan uca gecikmeleri ortalama %29.8 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar ağları, gezgin tasarsız ağlar, AODV, öncelik farkındalıklı



A NEW ROUTING PROTOCOL WITH PRIORITY AWARENESS FOR MANET

ABSTRACT

Nowadays wireless networks are widely used for communication in several areas. Communication between wireless devices is possible either with infrastructure or without infrastructure. In ad hoc networks, which is without infrastructure, all nodes in a network can behave as a router if needed. Mobile ad hoc networks, where the nodes can be mobile, have many applications such as military areas, environmental information tracking, health applications, disaster situations, smart vehicles, unmanned aerial vehicles and smart home applications. Major problems encountered in ad hoc networks are node mobility and limited resources. The need for data to be delivered end-to-end quickly and with the least possible packet loss also attracts the attention of researchers. In emergency scenarios, communication can be limited or not possible due to problems occurred on infrastructures. Mobile ad hoc networks can be used in this kind of situation to provide continuous communication. Devices or living beings represented by nodes in an ad hoc network has to transmit messages immediately to the destination node in an emergency scenario. In this case, some nodes may need continuous active communication. In such cases, a priority-aware method may be preferred as a solution. A node without an urgent task has to choose the least active route amongst the route alternatives to not slow down or completely block active urgent data transmission. Thus, without affecting the important nodes' communication, other nodes can also communicate with each other. The study presented in this thesis proposes a new priority aware, AODV based routing protocol for mobile ad hoc networks in an emergency scenario. The proposed method has been tested using ns-3 simulation tool in various emergency scenarios and urgent flows achieve reduced end-to-end delays by 29.8% without causing starvation in the rest of the network.

Keywords: Computer networks, mobile ad hoc networks, AODV, priority aware



1. GİRİŞ

Bilgiye duyulan ihtiyaç, teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli yükselirken, ihtiyaç duyulan bilgi miktarı da buna paralel olarak artmaktadır. Bulunduğumuz dönemde bilginin hedefe eksiksiz ve hızlı iletilmesi bilginin kendisi kadar önemlidir. Kablolu bilgisayar ağları bu ihtiyacı kısıtlı imkanlar dahilinde karşılayabilmektedir. Bilginin en önemli kaynaklarından biri olan insanlar sürekli hareketli halde bulunduklarından ve mobil cihaz kullanımının artmasından dolayı kablosuz iletişim bir zorunluluk haline gelmiştir. Kablosuz ağlar sayesinde insanlar ve cihazlar kablolu ağların getirdiği kısıtlamaların üstesinden gelmiş ve bununla beraber iletişim kolay ve hızlı bir hal almıştır.

Kablosuz ağlar, kullanıcıların ya da cihazların birbirleriyle konumdan bağımsız olarak iletişim kurmalarına olanak sağlar. Temelde iki tür kablosuz ağ tipi vardır: altyapıya dayalı ağlar ve altyapıdan bağımsız ağlar. Altyapıya dayalı ağlarda, ya da diğer adıyla hücreli ağlarda, kapsama alanı baz istasyonları tarafından sağlanır ve radyo sinyalleri merkezi bir noktada toplanır [1]. Bu erişim alanı içerisinde bulunan hareketli ya da hareketsiz kullanıcılar kablosuz ağa dahil olur ve bilgi aktarımı gerçekleştirebilirler. Hareketli kullanıcılar eğer bağlı olduğu baz istasyonunun alanından çıkarsa ya da baz istasyonundan alınan sinyal azalırsa, hızlıca yeterli sinyal alınan başka bir baz istasyonuna bağlanarak iletişimine devam eder [2]. Baz istasyonu bulunmayan alanlarda ise iletişim sağlanamaz.

Altyapıdan bağımsız kablosuz ağlar, tasarsız ağlar, merkezi kontrol sistemi bulunmayan ağlardır. Kontrol merkezi bulunmadığından bu tür ağlarda rota bulma, adres atama, vb. gibi görevleri düğümler yapmaktadır [3]. Ağda bulunan düğümlerin hareketli olması da uçtan uca gecikme, verimlilik, paket kaybı gibi, çözümü probleme göre farklılık gösterebilen sorunlar oluşturmaktadır. Bu sebeple araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur. Dinamik olan ve altyapı gerektirmeyen tasarsız ağların kullanım alanı da oldukça yaygın olup askeri alanlar, çevresel veri takibi, sağlık ve acil durum senaryoları, vb. durumlarda kullanılması uygundur. Tasarsız ağlarda rota bulma problemi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan en yaygın olanları DSR (Dynamic Source Routing) [4], AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) [5], DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) [6] protokolleridir. Yapılan tez çalışmasında bir acil durum senaryosunda AODV

protokolü üzerinde paketlerde, rota bulma algoritmasında ve IPv4 paketlerinde birtakım değişiklikler yapılmış olup, sonuçlar gözlemlenmiştir.

1.2 Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması

Acil durum senaryolarında bazı düğümlerin iletişiminin daha hızlı ve daha verimli olması diğer düğümlere göre daha önemli olabilir. AODV yönlendirme protokolü ilk dönen cevap paketi üzerinden iletişim sağlamaktadır. Bu durum, öncelikli düğümlerin, ağda herhangi bir önceliği bulunmayan diğer düğümlerin iletişiminde aracı olabilmesine yol açar. Bu tez çalışmasında ağda öncelikli düğümler bulunmaktadır. Öncelikli düğümler diğer düğümlere göre daha önemli bilgi bulunduran ya da bilgiyi hızlı ve verimli bir şekilde alması gereken düğümlerdir. Amaçlanan ise öncelikli düğümlerin mümkün olan en az şekilde meşgul edilmesidir ve yapılacak olan herhangi bir veri iletişiminin veriminin ve uçtan uca gecikmesinin azaltılmasıdır.

1.3 Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri

Herhangi bir altyapıya gerek duyulmadığından, dinamik olarak oluşturulabildiğinden ve kendi kendini organize edebildiğinden tasarsız ağlar, acil durum senaryolarında kullanıma uygundur. Askeri alanlarda, deprem, sel, vb. gibi afet durumlarında tercih edilebilirler. Yaygın kullanım alanından dolayı tasarsız ağlar üzerinde araştırmacılar tarafından yapılan birçok çalışma bulunmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda birçok farklı yöntemler kullanılmıştır. En sık yapılan çalışmalar genel olarak enerji kullanımını azaltmayı ya da performansı artırmayı -uçtan uca gecikme performansını artırmayı, veri iletim oranını artırmayı, vb.- hedeflemişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında uçtan uca gecikme performansının ve paket iletim oranının artırılması amaçlanmış ve bir acil durum senaryosunda yedek rota yöntemi kullanılmıştır. Sung-Ju Lee ve Mario Gerla tarafından geliştirilen AODV-BR (AODV with Backup Routes) adlı protokol AODV’de yedek rota tanımını yapmıştır [7]. Tezin 2. bölümünde, yapılan literatür çalışmaları ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

1.4 Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışmasının literatüre sağladığı katkılar;

- AODV temel alınarak acil durumlarda kullanılmak üzere yeni bir protokol geliştirilmiştir. Acil durumlardaki önemli düğümlerin iletişim performansları artırılmıştır.
- AODV arama halkasında yapılan geliştirme sayesinde hedef düğüm ile kaynak düğüm arasında olası diğer rotaların bulunabilmesi sağlanmıştır.
- ns-3 benzetim ortamında bulunan AODV kodunda, IPv4 kodunda ve düğüm (node) kodunda geliştirmeler yapılmıştır.

1.5 Tez Organizasyonu

Sunulan tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş olup diğer bölümler ve tez çalışması ile alakalı kısa bilgilerden oluşmaktadır.

İkinci bölüm tasarsız ağlarda yönlendirmeyi konu almaktadır. Yönlendirmenin nasıl yapıldığına, nelere ihtiyaç duyulduğuna, özelliklerine ve problemlerine ikinci bölümde yer verilmiştir. Literatürde bulunan, tasarsız ağlarda acil durum ve tasarsız ağlarda yedek rota kullanımı ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde PRIO-AODV protokolünden ve temel almış olduğu AODV protokolünde detaylıca bahsedilmektedir. Kullanılan benzetim ortamı bu bölümde tanıtılmıştır.

Dördüncü bölüm PRIO-AODV'nin belirli senaryolar içinde performans değeri ölçülmüş, uçtan uca gecikme ve paket iletim oranı, ve AODV protokolü ile karşılaştırılmıştır.

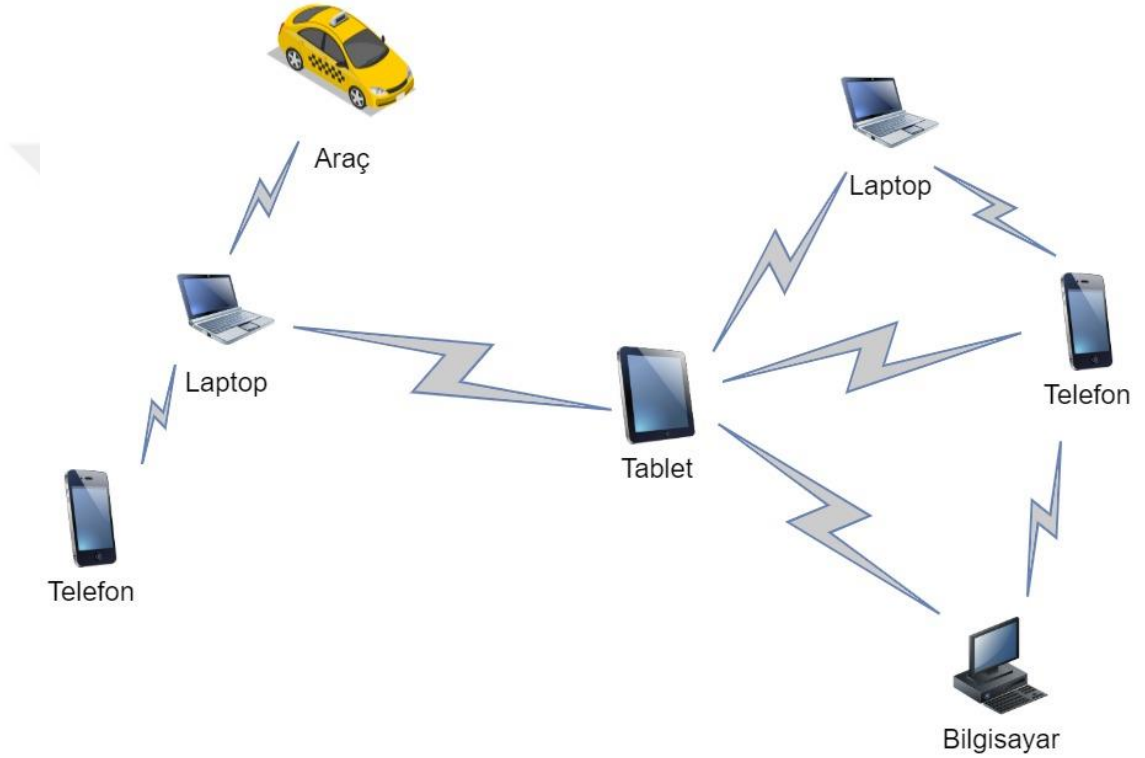
Beşinci bölüm son bölüm olmakla birlikte, PRIO-AODV hakkında genel değerlendirmeleri ve sonuçları barındırmaktadır.



2. TASARSIZ AĞLARDA YÖNLENDİRME

2.1 Giriş

Tasarsız ağlar altyapı olmadan, hareket eden ve sürekli değişen bir topolojide çok sekmeli veri iletişimini sağlayabilen ağlardır [8]. Kullanım amacı ve erişim aralığına göre kategorilere ayrılan tasarsız ağlar askeri, sağlık, akıllı ev sistemleri, acil durumlar, araçlar, telefonlar, vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örnek bir tasarsız ağ Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Örnek bir tasarsız ağ

Tasarsız ağlar kablosuz algılayıcı ağları (wireless sensor network), kablosuz örgü ağları (wireless mesh network) ve mobil tasarsız ağlar (mobile ad hoc network) kategorilerine ayrılıp incelenebilirler.

KAA (kablosuz algılayıcı ağları), kablosuz olarak iletişim kuran, çevresel koşulları tespit edip veri toplayan, dağıtık otonom algılayıcılardan oluşmaktadır. Bu ağda bulunan tüm cihazlar eş zamanlı ve sürekli olarak veri toplama, veri işleme ve iletişim kurma işlemlerini gerçekleştirebilmelidir Çevresel bilgi toplamdan askeri alanlara kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir [9].

KÖA (kablosuz örgü ağları), dağıtık örgüsel yönlendiricileri ve düğümleri bulunduran, kendi kendine organize olabilen ve şekillendirebilen kablosuz ağlardır. Örgüsel yönlendiriciler ağın kurulumu ve kapsama alanı içerisinde bulunan diğer düğümler ve yönlendiricilerle sağlanan örgüsel bağlantıların bakım işlemlerinden sorumludur [10].

Hareketli tasarsız ağlar (MANET), altyapıya gerek duymadan kendi kendine organize olabilen ve içerisinde hareketli düğümler bulunduran ağlardır. Düğümlerin araçlardan oluşan türü VANET (vehicular ad hoc network) adını almaktadır. Nesnelerin interneti ile uygulama alanı oldukça artmıştır. Düğümlerin çok fazla ve yüksek hızla hareket etmelerinden ve sık sık kopan bağlantılardan dolayı güvenlik ve iletişim sorunları bulundurmaktadır [11]. Araçtan araca (vehicle-to-vehicle, V2V) ya da araçtan sabit cihaza (vehicle-to-infrastructure, V2I) iletişim sağlayabilirler.

2.2 Tasarsız Ağlarda Yönlendirme

Bilgisayar ağları uygulamalarında yönlendirme en önemli problemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Yönlendirme, kaynak düğümden hedef düğüme gidecek olan paketlerin hangi rotayı kullanacağını belirlenmesidir [3]. Ağ tarafından kullanılan yönlendirme protokolü sayesinde paket yönlendirmelerinin nasıl yapılacağına karar verilir. Tasarsız ağlarda çok sekmeli yönlendirme kullanılmaktadır. Çok sekmeli yönlendirmede kaynak düğümün hedef düğüme direkt olarak bağlantılı olmasına ihtiyaç duyulmaz. Kaynak düğüm ara düğümleri kullanarak hedef düğümlerle iletişim kurabilmektedir.

Çok sekmeli tasarsız ağlarda aşağıdaki özellikler bulunur.

- Dinamik topoloji: Düğümler rastgele ya da bir düzene göre hareket eder, dolayısıyla ağ dinamik bir yapıya sahip olur. Düğümler arasındaki bağlantılar sürekli olarak değişebilmektedir.
- Kısıtlı fiziksel güvenlik: Kablosuz ağlarda hizmeti kullanılamaz kılma (DOS, Denial-of-service) saldırıları ve benzer saldırılar kablolu ağlara göre daha kolay ve etkilidir. Buna rağmen tasarsız ağlar merkezi bir sistem bulunmaması sebebiyle avantajlı durumdadır.

- Tek yönlü bağlantılar: İletişimdeki verilerin birbirleriyle çakışması, düğümlerin sınırlı kapsama alanının bulunması gibi durumlar tek yönlü bağlantılara yol açabilir.
- Bant genişliğinin ve enerjinin kısıtlı olması: Bant genişliği ve enerji tükenebilir ve kısıtlı kaynaklar olduğundan tasarsız ağlarda önem arz etmektedir [2].

2.3 Mobil Tasarsız Ağların Özellikleri ve Problemleri

MANET kendine özgü özellikleri sayesinde tasarsız ağlardan farklı problemlere sahiptirler. Mobil tasarsız ağlarda bulunması gereken özellikler ve bu özelliklerin getirdiği problemler aşağıdaki gibidir.

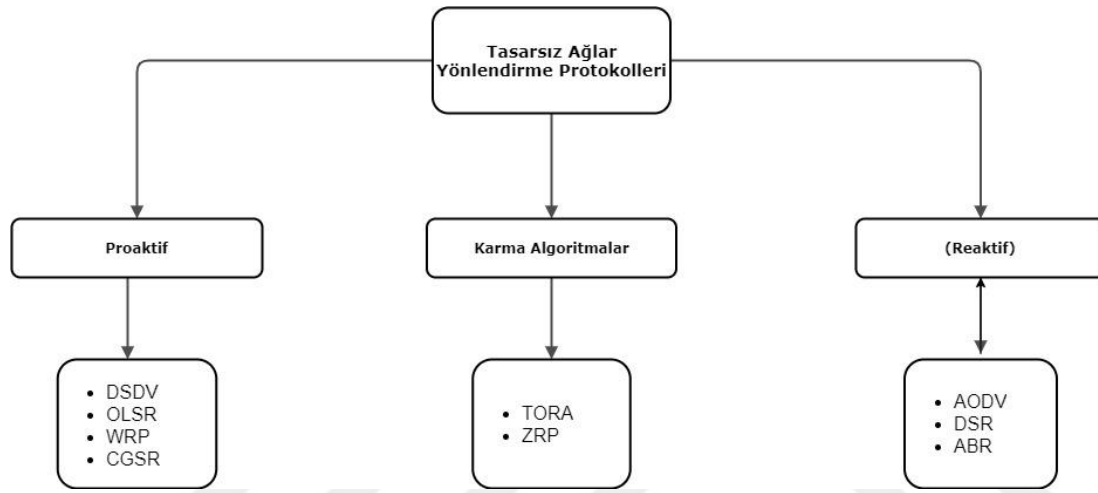
- Dinamik topoloji: MANET topolojisi yüksek hızlı ve hareketli düğümlere sahip olabilmektedir. Bu sebeple kurulan bağlantıların çok kısa sürmesi olası bir problemdir.
- Sık sık kopan bağlantılar: Topolojinin dinamik olmasından kaynaklı olarak iletişim esnasında bağlantı kopma sorunu MANET’te çok sık gözükmemektedir.
- Hareket modelleme: MANET topolojisinin modeli bulunduğu yollara, araçlara, çevreye, araç hızlarına, sürücü davranışı, vb. gibi özelliklere dayanmaktadır.
- Enerji ve depolama kapasitesi: Modern dünyadaki araçlarda enerji ve depolama kapasitesinde kablosuz algılayıcı ağlarına göre daha iyi bir noktaya gelinmiştir.
- Çevresel etkenler: Kullanılacak ağın bulunduğu çevre iletişim açısından önemli bir rol oynamaktadır. Yoğun bir şekilde binaların, araçların, insanların, vb. bulunduğu bir ortamda iletişim sağlamak, boş bir arazide oluşturulan bir tasarsız ağ ile iletişim sağlamaktan farklı olacaktır. Çevresel etkenler kullanılacak protokolleri belirleyen faktörlerden biridir [11].

2.4 Tasarsız Ağlarda Temel Algoritmalar ve Yönlendirme Protokolleri

Tasarsız ağlarda paketlerin hangi rotadan hedefe gönderileceğini yönlendirme protokolleri belirler. Uçbirimler ve yönlendiricilerde çalışırlar. Yönlendirme protokollerinde yönlendirme tablosu bulunur ve kullanılan yöntemlere göre kaydedilen bilgiler değişebilmektedir. Yönlendirme tablosu sayesinde yönlendirme protokolleri paketin iletileceği bir sonraki düğümü ya da paketin takip edeceği tüm rotayı

belirlemektedir. Ağın performansında önemli bir rol oynayan yönlendirme protokolleri ağın özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Yönlendirme protokollerini 3 ana kategoride inceleyebiliriz. Kategoriler ve bu kategorilere dahil olan protokoller Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Günümüzde bulunan yönlendirme protokolleri genellikle bağlantı-durum algoritması ya da uzaklık-vektör algoritması temel alınarak geliştirilmiştir. Temel alınan algoritma sayesinde yönlendirme tablosunda bulunan veriler farklılıklar gösterebilmektedir.



Şekil 2.2: Yönlendirme protokolleri kategorileri

2.4.1 Bağlantı-Durum Algoritması

Bağlantı-durum yönlendirme algoritması, Dijkstra algoritmasını kullanarak, ağdaki her bir düğümün ağın topolojisini bilmesine dayanır. Diğer bir deyişle ağdaki herhangi bir düğümün yönlendirme tablosunda ağda bulunan diğer tüm düğümlere ait bilgiler bulunmaktadır. Bu da her bir düğümün bağlantı-durum paketlerini yayınlamasıyla gerçekleşir [3]. J Moy 1998 yılında bu yöntemi kullanarak günümüzde kullanılan bazı yönlendirme protokollerinin atası olan OSPF (Open Shortest Path First) yönteminin 2. sürümünü yayınlamıştır [12].

2.4.2 Uzaklık-Vektör Algoritması

Bağlantı-durum algoritmanın global veriyi kullanmasının aksine, uzaklık-vektör algoritması tekrarlı, asenkron ve dağıtıktır. Her düğüm kendi kullandığı bilgiyi işler ve komşularına gönderir. Bu algoritmayı kullanan yönlendirme protokollerinde düğümlerin bütün ağ topolojisini bilmesine ihtiyaç yoktur [3]. Yönlendirme

tablosunda komşu düğümlerin ve iletişim kurulacak olan düğümlerin bilgileri tutulur. Uzaklık-vektör algoritması Bellman-Ford algoritmasını temel alır.

2.4.3 Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)

Charles E. Perkins ve Praving Bhagwat tarafından 1994 yılında geliştirilen DSDV protokolü Bellman-Ford algoritmasını temel almıştır ve tabloya dayalı bir protokoldür [5]. DSDV protokolü bundan önceki protokollerde oluşan döngü problemini ortadan kaldırmıştır, ayrıca kontrol mesajlarının azalmasıyla aşırı işlem maliyetini de azaltmaktadır [13].

DSDV proaktif bir yönlendirme protokolüdür. Her bir düğüm tüm ağ topolojisini bilmektedir. Bunu sağlamak amacıyla düğümler belirli aralıklarla yönlendirme tablolarını komşu düğümlere gönderirler. Ayrıca DSDV yönlendirme protokolünde her bir düğüme o düğümün güncellik bilgisini barındıran sıra numaraları verilmiştir. Bu sıra numaraları sayesinde sonsuza sayma problemi ortadan kaldırılmış olur. Düğümler yönlendirme tablosunda herhangi bir güncelleme yaptıkları zaman sıra numaralarını güncellerler ve yönlendirme tablolarını komşu düğümlere gönderirler [5].

Bir düğüm tarafından herhangi bir bağlantı kopma durumu fark edildiğinde ilgili düğüme olan sıra numarası ∞ olarak güncellenir ve komşu düğümlere bildirilir. Böylelikle ağdaki bir değişiklik tüm ağa bildirilmiş olur [5].

DSDV yönlendirme protokolünde düğümlerde bulunan yönlendirme tabloları aşağıdakileri içerir:

- Hedef düğüm adresi,
- Hedef düğüme ulaşmak için kullanılacak ilk düğüm,
- Hedef düğüme ulaşmak için gereken zıplama sayısı,
- Hedef düğüm sıra numarası,
- Güncellenme zamanı [5].

2.4.4 Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)

T. Clausen ve arkadaşları tarafından 2003 yılında hareketli tasarsız ağlar için geliştirilmiştir 14. Tabloya dayalı bir protokol olan OLSR VANET’te de uyum sağlayabilmektedir. OLSR protokolünün en büyük avantajı ağdaki düğümlerin tüm

düğümünün bilgilerine sahip olması ve böylece hızlı iletişim sağlayabilmesidir. OLSR geleneksel bağlantı-durum protokolünün iyileştirilmesidir [8, 14].

OLSR seçilen düğümleri (MPR, multipoint relay) adında, kullanarak ağda oluşan ek maliyeti en aza indirmeyi amaçlar. Her düğüm bir zıplama uzaklığında ve simetrik komşularından MPR seti seçer. Seçilen bu set iki zıplama uzaklığında simetrik düğümleri kapsmalıdır. Rota bilgisi paketlerini yönlendirme işlemlerini MPR'ler üstlenir. Böylece ağda oluşabilecek ek maliyetler düşürülür. MPR olmayan bir node periyodik bir paket yayınladığında kendi setinden olmayan düğümler bu paketi alabilirler ve işleyebilirler fakat MPR değilse tekrar yayınlama yapamazlar [14].

2.4.5 Wireless Routing Protocol (WRP)

M. Shree ve Garcia-Luna-Aceves tarafından 1996 yılında geliştirilen WRP protokol, Bellman-Ford algoritmasını temel almıştır [15]. Proaktif bir protokol olan WRP sonsuza sayma problemini çözmüştür ve yakınsama hızını artırmıştır. Düğümlerde bulunan yönlendirme tablosu tüm ağ topoloji bilgisini barındırmaktadır [8, 12].

WRP'de her düğüm yönlendirme tablosuyla birlikte uzaktık tablosu, bağlantı maliyet tablosu ve mesaj yeniden iletim tablosu barındırmaktadır. Bu sayede iletişim kurulacak herhangi bir düğüm için rota her zaman hazır bir şekilde bulunmaktadır. Düğümler iletişim halinde değilken birbirlerine periyodik hello mesajları göndererek ağ bilgilerini güncel tutarlar. Fakat birden fazla tablonun işlenmesi ve güncellenmesi karmaşık ve maliyetli bir durumdur [12, 15].

2.4.6 Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR)

Ching-Chuan Chiang ve arkadaşları tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir [16]. Tabloya dayalı bir yöntemdir ve LCC (Least Cluster Change) algoritması kullanılarak ağda kümeler oluşturulmuştur. Kümeler küme başı tarafından kontrol edilmektedir ve kümeler sayesinde kanal erişimi, bant genişliği ve yönlendirme için yeni özellikler getirmiştir [8].

Düğümünün hareketli olmasından kaynaklı olarak kümelerde ve küme başlarında sıklıkla değişim olabilir. Bu nedenle küme başı seçme CGSR protokolünde önem arz etmektedir. Küme başı seçme için kullanılan LCC algoritması sayesinde küme başları ancak iki durumda değişebilmektedir; iki küme başının birbirlerinin erişim alanına girmesi durumunda ya da bir düğümün küme ile bağlantısının kopması

durumunda. Diğer küme başı seçme algoritmaları ile karşılaştırıldığında LCC algoritmasının istikrarlı ve başarılı bir yöntem olduğunu görülmektedir [8, 16].

Kümeler arası iletişim CDMA (Code Division Multiple Access) ile sağlanırken küme içi iletişim küme başının sağladığı özel bir kodla sağlanmaktadır. Bu durum küme başına bir ayrıcalık tanımakla beraber kanal kullanımını en üst düzeye çıkarır ve gecikmeyi en alt seviyeye indirir. Bir düğüm başka bir düğüme paket göndermek istediği zaman paket ilk olarak küme başına gönderilir ve küme başından ağ geçidi adı verilen düğüme iletilir. Ağ geçidi düğümleri iki kümeye dahil olan düğümlere verilen addır. Ağ geçidi düğümü paketi kendi küme başına iletir ve paket hedef düğüme iletilene kadar bu süreç devam eder [16, 17].

2.4.7 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)

Geri bağlantılı (link reversal) konsepti temel alınarak, uyarlanabilir ve ölçeklenebilir bir protokol olan TORA 1997 yılında Park ve Conson tarafından geliştirilmiştir [18]. TORA protokolünde kaynaktan hedefe birden fazla rota bulunur. Topolojik değişimler yerel düğümler arasında iletişim kurularak birbirlerine bildirilir. Bu protokolün ana özellikleri rota bulma, rota bakımı ve rota silmedir. Ayrıca yükseklik adında bir parametre bulundurmaktadır ve yükseklik parametresi hedef düğüme varana kadar cevap veren düğümlerin ölçümüdür [12, 17].

Hedef düğümünden kaynak düğüme aktif bir rota olmadığı zaman rota bulma işlemi devreye girer. Hedef düğüm bir sorgu (QRY, query) paketi yayınlar ve ara düğümler değişen durumlara göre ya QRY ya da güncelleme (UPD, update) paketi yayınlarak hedef düğüme ulaşılır. Topolojik değişimlere cevap vermek görevi üstlenen rota bakım işlemini üstlenmektedir. Bu değişimlere cevap verilemediği takdirde rota silme işlemi görev almaktadır. Ulaşılamayan düğüm için kayıtlı rotayı silme işlemi temizleme (CLR, clear) paketi ile gerçekleştirilmektedir [17].

2.4.8 Zone Routing Protocol (ZRP)

ZRP Samar ve arkadaşları tarafından büyük tasarsız ağlar için geliştirilmiştir. Düğümler yakın çevresindeki düğümler ile iletişime geçmek için proaktif bir yaklaşım sergilerken uzak çevredeki bir düğümler ile iletişime geçmek için reaktif bir yaklaşım sergilemektedir, bu sebepten dolayı karma bir yönlendirme protokolüdür. Yakın ve uzak çevre düğümlerin sahip olduğu yönlendirme alanları ile

belirlenmektedir. Bir düğümün yönlendirme alanı içindeki düğümler yakın çevresi, dışındaki düğümler ise uzak çevresi olarak adlandırılmaktadır. Komşu düğüm keşfi hello paketleri ile gerçekleşmektedir [8].

2.4.9 Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)

C. Perkins ve arkadaşları tarafından 1999 yılında geliştirilmiştir [6]. Dinamik, kendi kendini oluşturabilen, çok yönlü yönlendirmeyi mümkün kılan bir protokol olan AODV ölçeklenebilir yapısı ile çok sayıda düğümü barındıran ağlar için tasarlanmıştır.

DSR ve DSDV yönlendirme protokollerinden özellikler barındıran AODV reaktif bir protokoldür. Rota bulma esnasında DSR'den faydalanan AODV, yönlendirme paketlerinde sıra numarası bulundurması ile de DSDV'yi temel almıştır. Kernel-AODV, AODV-BR, vb. gibi çeşitli uygulamaları bulunmaktadır [6].

AODV yönlendirme protokolünde tüm düğümler bir yönlendirme tablosu tutarlar. Periyodik olarak yönlendirme tablolarını komşu düğümlere gönderen DSDV'nin aksine AODV sadece hello mesajları göndermektedir. Böylece ağdaki düğümler birbirlerinin güncel bilgilerini barındırmaktadır. Yönlendirme tablosunda bulunan veriler aşağıdaki gibidir:

- Hedef IP adresi,
- Hedef sıra numarası,
- Geçerli hedef sıra numarası işareti,
- Yol durumu işareti,
- Ağ arayüzü,
- Sıçrama sayısı,
- Bir sonraki düğüm IP adresi,
- Öncü düğüm listesi,
- Kayıt yaşam süresi [5, 6].

Bu protokolde 4 farklı mesaj türü bulunmaktadır. Rota istek mesajı (RREQ, Route Request), rota cevap mesajı, (RREP, Route Reply), rota hata mesajı (RERR, Route

Error) ve rota cevap onaylama mesajı (RREP-ACK, Route Reply Acknowledgment). Paketler hakkında detaylı bilgiler 3. bölümde verilecektir.

Düğümünden paket gönderilmesi gereken durumda ilk olarak kaynak düğüm yönlendirme tablosunu kontrol eder. Eğer aktif ve geçerli bir rota bulunuyorsa o rota kullanılır, bulunmadığı durumda RREQ paketi yayınlanarak rota arama işlemi başlar. Kaynak düğümünden yayınlanan RREQ paketini alan ara düğümler ilk olarak yönlendirme tablolarını kontrol ederler. Aktif bir rota olması durumunda kaynak düğüme RREQ paketinin izlediği yoldan geriye doğru RREP paketi döndürür ve rota bulma işlemi tamamlanmış olur. Ara düğümde de aktif bir rota bulunmadığı durumda ara düğüm yaşam süresini azaltarak RREQ paketini yayınlar. RREQ paketinde bulunan kimlik değeri ara düğümlerin tekrar tekrar aynı RREQ paketini yayınlamasını engeller. RREQ paketi hedef düğüme ulaşmaya kadar ya da hedef düğüme aktif rota bulunduran bir düğüme ulaşmaya kadar RREQ yayınlama işlemi devam eder. Hedef düğüm RREQ paketini aldığı anda paketin geldiği yoldan geriye doğru bir RREP paketi yayınlar. Kaynak düğüm hedef düğümünden gelen RREP paketini aldığı anda rota bulma işlemi tamamlanmış olur. Kaynak düğümünden hedef düğüme rota arama esnasında genişleyen halka arama yöntemi kullanılmaktadır. Bu sayede ağda fazla maliyet oluşumu engellenmektedir.

Ağda herhangi bir olumsuz durum yaşandığında -bağlantı kopma, düğümün kullanılamaz hale gelmesi, vb.- tüm sistemin güncellenmesine gerek duyulmaz. Düğümlerin yönlendirme tablolarında hali hazırda iletişim halinde oldukları düğümlerin bilgileri ile komşu düğümlerin bilgileri bulunduğu için dolayı rota bakım işlemleri yerel olarak da yapılmaktadır [6].

2.4.10 Dynamic Source Routing (DSR)

DSR protokolü David B. Johnson ve David A. Maltz tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. Dinamik topolojiler için geliştirilmiş bir protokol olup birçok uygulamaya temel olmuştur. Reaktif bir protokol olan DSR periyodik yönlendirme tablosu güncelleme işlemini eleyerek kontrol paketlerinin bant genişliği kullanımını kısıtlamaktadır. İki ana mekanizmadan oluşmaktadır, rota keşfi (route discovery) ve rota bakımı (route maintenance) [4].

Düğümün önbelleğinde hedef düğüme doğru bir rota bulunmadığı takdirde rota keşfi işlemi başlar. Rota istek paketi (route request packet) kaynak düğümünden yayınlanır.

Rota keşif paketleri hedef düğüme ulaşınca kadar ara düğümler tarafından yayınlanmaya devam edilir. Paket kimlik değeri (id) aynı rota istek paketlerinin ağda ek maliyet yapmalarını engeller. Herhangi bir ara düğüm aynı kimlik bilgisine sahip paketi aldığı durumda yeni gelen rota istek paketi düşürülür. Hedef düğüme ulaşan rota istek paketi aynı yoldan rota cevap (route reply) paketi gönderir. Rota cevap paketi kaynak düğüme ulaştığı anda rota keşfi işlemi bitmiş olur [4].

Rota bakımı düğümlerin birbirlerine onay (acknowledgment) paketleri göndermesiyle gerçekleşir. Onay paketleri giden paket üzerine eklenebilir ya da ayrı bir şekilde gönderilebilir. Eğer kaynaktan hedef tek yönlü bir bağlantı var ise onay paketi göndermek için hedeften kaynağa ayrı bir rota gereklidir. Belirlenen süre boyunca onay paketi alınmayan düğüm ile bağlantı kopmuş varsayılır ve ilgili düğüme ait önbellek kaydı silinir. Ayrıca kaynak düğüme bir rota hatası (route error) paketi gönderilir ve böylece kaynak düğüm de kopan bağlantıdan haberdar olur ve tekrar rota keşfi işlemlerini başlatır [4].

2.4.11 Associativity-based Routing (ABR)

C.K. Toh tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir [19]. ABR rota seçme aşamasında rota istikrarını en önemli ekten olarak ele alan bir reaktif yönlendirme protokolüdür. Sorgu yayın (broadcast query) paketleri yayınlayarak rota arama işlemi yapılır ve bu paketler sayesinde kaynak düğüm hedef düğüm ile arasındaki tüm muhtemel rotalardan haberdar olur. Rota seçimi hedef düğümden gerçekleşmektedir. ABR ilişki derecelendirmesi yaparak en istikrarlı rotayı seçmeyi hedefler. Düğümler her bir komşusu için bir ilişki işareti barındırır. Alınan her bir periyodik hello mesajı ilişki değerini artırmaktadır. Belirli bir değerin üstüne çıktığı zaman ilişki istikrarlı olarak işaretlenir ve rota seçiminde istikrarlı olan düğümler kullanılır. Sorgu yayın paketleri hedef düğüme ulaştığında paketlerde bulunan ilişki dereceleri karşılaştırılır ve en yüksek dereceli rota tercih edilir [8, 17, 19].

2.4.12 Diğer Yönlendirme Protokolleri

Mahesh K. Marina ve Samir R. Das tarafından 2001 yılında geliştirilen AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) protokolü AODV'nin farklı bir türüdür. Dinamik ağlarda sık sık karşılaşılan bağlantı kopma problemini ortadan kaldırmak amacıyla tek rotaya sahip AODV protokolüne birden fazla rota bulma seçeneği eklenmiştir. Birden fazla rota bulma işlemi döngü içermeyecek şekilde

oluşturulmuştur. AODV protokolünün yönlendirme tablosunda bulunan sıçrama sayısı (hopcount) alanı tanıtılan sıçrama sayısı (advertised_hopcount) olarak değiştirilmiştir. Tanıtılan sıçrama sayısı yönlendirme tablosuna kaydedilecek rotaların alabileceği en yüksek sıçrama sayısını belirtir. Sonraki düğüm alanı ise sonraki düğümler listesi olarak değiştirilmiştir. AOMDV sadece tanıtılan sıçrama sayısından düşük sıçrama sayısına sahip rotaları listeye eklemektedir. Performans karşılaştırması için ns-2 benzetim ortamı kullanılmıştır. 2200m x 600m'lik bir alanda, 100 düğüm rastgele güzergah (random waypoint) hareket modeli ile, 0'dan her düğüm için özel belirtilen en fazla hız değerine kadar hareket hızına sahip bir senaryoda AODV ve AOMDV protokollerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda AOMDV protokolünün AODV protokolüne göre daha hızlı ve paket iletim oranı açısından daha verimli olduğu gözlemlenmiştir [20].

AODV-BR Sung-Ju Lee ve Mario Gerla tarafından 2000 yılında geliştirilmiştir. Kablosuz iletişimin özelliklerinden faydalanarak oluşturulan bu protokol kapsama alanı içerisindeki paketleri dinleyerek alternatif rota oluşturma üzerine tasarlanmıştır. AODV'nin bir versiyonudur. AODV'de kullanılan rota keşfi işleminde değişiklik yapılmamış olup yapılan geliştirme RREP paketlerinden faydalanılarak sağlanmıştır. Düğümler kapsama alanını sürekli dinleyerek kendilerine ait olmayan RREP paketlerini toplarlar. Bu paketlerdeki bilgiler alternatif yönlendirme tablolarına eklenir. Böylelikle alternatif bir rota oluşturulmuş olur. Ana rotada herhangi bir bağlantı sorunu olduğu zaman hedef düğüme ait bir alternatif rotaya sahip komşu düğüm ağı dinleyerek elde ettiği paketi alternatif yönlendirme tablosundaki rotayı kullanarak hedef düğüme gönderir. Bu esnada rota hatası olduğu için hatayı farkedenden ilk düğüm kaynak düğüme rota hata mesajı gönderir. Bağlantı kopma durumlarında alternatif rotalar ana rota durumuna geçemezler, rota keşif işlemi baştan başlatılır. 1500m x 300m'lik bir alanda rastgele yerleştirilen 50 hareketli düğüm ile GloMoSim (Global Mobile Simulation) benzetim ortamı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda uçtan uca gecikme ve paket iletim oranında pozitif anlamda gelişme gözlemlenmiştir [7].

CML (ChaMeLeon) yönlendirme protokolü Tipu Arvind Ramrekha ve Christos Politis tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir. CML acil durum senaryoları için hibrit, uyarlanabilir ve topolojik değişimlere uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Büyük ağlar için reaktif faz (R-phase), daha küçük ağlar için proaktif

faz (P-phase) ve osilasyon fazı (O-phase) olmak üzere 3 yönlendirme fazına sahiptir. CML'nin varsayılan fazı proaktif fazdır ve proaktif fazda yönlendirme OLSR tarafından gerçekleştirilir. Her fazın kararlı olduğu durumlarda yönlendirme paketleri iletişimi esnasında faz uyarlanabilir modül ile iletişime geçerek fazın o anki durumunu bildirir. Ağdaki düğüm sayısı kontrol edilir, belirlenen düğüm sayısından fazla düğüm olduğu durumlarda reaktif faza geçilir. Reaktif fazda yönlendirme AODV ile gerçekleştirilir. 1000m x 1000m'lik bir alanda değişen düğüm sayısı ile yapılan deneyler sonucunda CML'nin uyum sağlayabilen yapısı sayesinde toplam uçtan uca gecikme ve toplam paket iletim oranında AODV, OLSR ve DSR protokollerinden daha verimli olduğu gözlemlenmiştir [21].

Mohammed S. Al-kahtani ve arkadaşları acil durum senaryolarında kullanılmak üzere küme tabanlı bir kablosuz algılayıcı ağı olan ODCR (Opportunistic density cluster-based routing protocol) protokolü 2020 yılında tasarlanmıştır. Küme başları en çok komşusu olan düğümlerden seçilmektedir bu sayede ağdaki veri ileticilerinin ve toplayıcılarının sayısı azaltılmıştır. Herhangi bir kümeye dahil olmayan algılayıcılar fırsatçı bir yaklaşım sergileyerek algılayıcılara verileri iletmektedir. Bir kümeye dahil olan algılayıcı veriyi küme başına iletir ve küme başı bir sonraki düğüme gönderir. Fakat algılayıcı bir kümede değilse ya da sınırda ise paketi en yakın komşusuna gönderir. Küme yaklaşımının ve fırsatçı yaklaşımın birleştiği ODCR protokolünün benzetim deneyleri ns-3 benzetim ortamında yapılmıştır. 2000m x 2000m bir alanda 100 düğüm kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde ODCR protokolü LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Protocol) ve TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol) protokolüne göre daha verimli sonuçlar gözlemlenmiştir [22].

Fırat Çetinkaya ve arkadaşları 2018 yılında 'E-AODV: a Protocol Devoted to Emergency and Rescue Scenarios for Mobile Adhoc Networks' adlı çalışmada AODV protokolünden temel alınarak yeni bir protokol geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı AODV kuyruk yapısında değişiklikler yapıp uçtan uca gecikmeyi düşürmek, bant genişliği verimli kullanmak ve enerji kullanımını azaltmaktır. Kuyruktaki tıkanmalardan sakınmak amacıyla TCP paketlerine kuyrukta öncelik verilmiştir. Bulunan yeni yöntem AODV, DSDV ve DSR protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarında E-AODV yönteminin uçtan uca gecikmeyi azalttığı ve paket iletim oranını arttırdığı gözlemlenmiştir [17].

D. K. Sharma ve arkadaşları tarafından geliştirilen P-AODV, AODV'yi temel almıştır. AODV'nin rota bakım mekanizmasında değişiklikler yapılarak geliştirilmiştir. Öncelik adlı bir değişken ile düğümler kendilerini yüksek öncelikli veya düşük öncelikli olarak işaretlerler. Öncelik bilgileri, hello paketleri ile diğer düğümlere bildirilir. Ayrıca düğümler kapsama alanında gerçekleşen trafiği dinleyerek alternatif bir yol oluştururlar. Aktif bir iletişimde bulunmayan düğüm kendisini yüksek öncelikli olarak işaretler. Rota bakımı gerektirecek durumlarda rota arama işlemi için önceliği yüksek düğüm seçilir, rota tekrar oluşturulduğu takdirde aktif iletişimde bulunmayan bir düğüm üzerinden veri gönderme işlemine devam edilir [23].

TMED: A Spider-Web-Like Transmission Mechanism Tie Qui ve arkadaşları tarafından VANET'ler için geliştirilmiştir. Kaynak araç coğrafi bilgi sistemlerini ve elektronik haritaları kullanarak hedef araç ile arasındaki yolları, kavşakları, araçları ve rotaları belirler. Ardından kaynaktan hedefe istek-örümcek (request spiders) paketleri gönderilir. Hedefe ulaşan paketler geldikleri yoldan kaynağa doğru doğrulanmış-örümcek (confirmed-spiders) olarak geri gönderilir. Geri dönen doğrulanmış-örümceklerin uçtan uca gecikme bilgileri kaynakta bulunur. 3 tip paket önceliklendirilmesi vardır, bunlar önemliden önemsizye göre; P1, P2, P3. Önemli paketler için uçtan uca gecikmesi en az olan rota seçilmektedir. Ayrıca kuyruk yapısında da düzenlemeler yapılmış olup önem derecesine göre kuyruktan çıkarılmaktadır [24].

2.5 Sonuç

Tasarsız ağlarda yönlendirme çok sayıda farklı problemlerin bulunduğu bir alandır. Bu sebeple araştırmacıların ilgisini yıllar boyunca çekmiştir. Mobil cihazların küçülmesi ve çeşitliliği arttıkça tasarsız ağların da çeşitliliği ve buna bağlı olarak karşılaşılan problemler artmaktadır. James F. Kurose ve Keith W. Ross, bilgisayar ağlarında yönlendirme konusunu, bilgisayar ağlarının en zor on konusu içerisinde göstermiştir [3].

AODV yönlendirme protokolünde rota keşfi esnasında rotaların durumları kontrol edilmez. Yoğun rotalar en kısa yol olarak görülebilir ve bu ilgili rotaların daha da yoğunlaşmasına, uçtan uca gecikmenin artmasına, paket iletim oranını azalmasına

yol açabilmektedir. Bu sebepten dolayı rotaların yoğunluk, bant genişliği, rotada düğümlerin enerji seviyeleri AODV için çözülmesi gereken sorunlardır.

CML yönlendirme protokolü AODV üzerinde herhangi bir geliştirme yapmamıştır, bu sebeple AODV protokolünde karşılaşılan problemler, yüksek düğümlü durumlarda CML’de de oluşmaktadır. ODCR protokolü küme tabanlı bir protokoldür. Yüksek dinamik ağlarda küme tabanlı protokoller kümelerin çok hızlı güncellenmesi ve değişmesinden dolayı zayıf performans gösterebilirler. E-AODV protokolü AODV’nin sadece kuyruk yapısında değişiklik yapmıştır. Bu sebeple AODV için yukarıda belirtilen sorunlar burda da devam etmektedir. P-AODV’de öncelik belirlenmesi farklı olmakla beraber rota keşfinde değişiklik yapılmamıştır. TMED VANET’ler için geliştirilmiş olup şehir dışı kullanımda performans düşüklüğü gösterebilmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde enerji harcamasını düşürecek çalışmalar ve performans artırımına yönelik çalışmalar yer almaktadır. Aciliyet senaryolarında önemli düğümlerin performansını artırmaya yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında sunulan PRIO-AODV protokolü önemli düğümlerin ürettiği paketlerin uçtan uca gecikmesi ve paket iletim oranı performanslarını artırmaya odaklanmaktadır.

3. MANET İÇİN ÖNCELİK FARKINDALIKLI YENİ BİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ: PRIO-AODV

3.1 Giriş

Bu bölümde, PRIO-AODV protokolünde yapılan geliştirmeler ve protokolün özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca AODV yönlendirme protokolünün detaylarından bahsedilerek RREQ paketinde, RREP paketinde, yönlendirme tablosunda ve temel çalışma prensiplerinde yapılan değişikliklerden bahsedilmektedir.

PRIO-AODV temel olarak AODV yönlendirme protokolünün mekanizmalarını kullanmaktadır. PRIO-AODV düğümlere önem derecesi ataması yaparak önem derecesi yüksek düğümlerin meşguliyetini düşürmeyi ve bu sayede önemli düğümler tarafından başlatılan iletişimin uçtan uca gecikmesini azaltmayı ve paket iletim oranını artırmayı amaçlar.

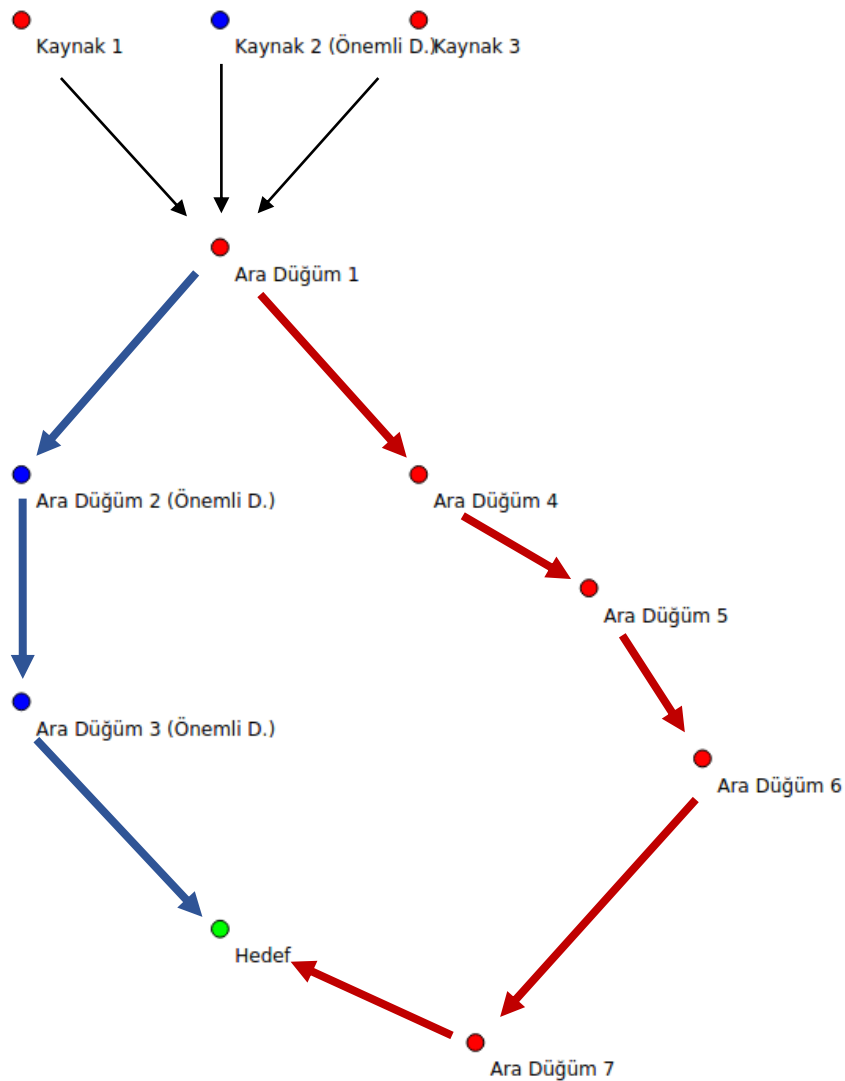
3.2 AODV ve PRIO-AODV Genel Bakış

AODV yönlendirme protokolü en kısa rotayı bulmayı amaçlayan, tasarsız ağlar için geliştirilen bir protokoldür. Yapısı gereği tek bir rota bulan AODV herhangi bir sorun veya geliştirme olmadığı sürece bu rotayı kullanmayı devam eder. Rotadaki iletişim yoğunluğu AODV yönlendirme protokolünün rota seçimi mekanizmasını pek fazla etkilemez. Hedef düğüme ya da hedef düğüme aktif bir rotası olan düğüme ilk ulaşan RREQ paketi için RREP cevabı dönülür, gelen diğer RREQ paketleri düşülür. İlk dönen rota en hızlı rota kabul edilir ve kullanılır. Daha düşük sıçrama sayısına sahip ya da daha yüksek sıra numarasına sahip bir RREP gelmediği sürece bu rota kullanılmaya devam edilir. PRIO-AODV protokolünde önemli düğümlerin meşguliyetinin azaltılması amaçlandığından dolayı, hedef düğüm ya da hedef düğüme aktif rotası bulunan düğüm gelen tüm RREQ paketlerine RREP cevapları döndürür, bu sayede birden fazla rota bulma şansı meydana gelmiş olur. Ara düğümler AODV protokolündeki gibi hareket eder ve aynı id numarasına sahip RREQ'ler düşürülür. Dönen RREP paketleri işlenerek birinci ya da ikinci yönlendirme tablosuna eklenirler. Ayrıca rotanın sıçrama sayısı belli bir değerin altında ise kaynak düğüm tarafından maksimum sıçrama sayısına sahip bir RREQ daha gönderilir. Bu sayede sıçrama sayısı olarak daha uzun fakat önemli düğüm

sayısı bakımından daha düşük rotalar bulunabilmektedir. Yapılan bu çalışmada bu değer 8 olarak belirlenmiştir.

PRIO-AODV yönlendirme protokolünde düğümlerin önem dereceleri bulunmaktadır. Düğümler ‘normal’ ya da ‘önemli’ olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Düğümün önem derecesi düğümün yayınladığı paketlerde bulunmaktadır, bu paketler bölüm 3.2.2’de detaylı olarak anlatılacaktır.

PRIO-AODV’nin 11 düğümlü ağda örnek bir benzetimi yapılmıştır. Örnek benzetim ağı şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Örnek Benzetim Ağ Modeli

Mavi düğümler önemli, kırmızı düğümler normal, yeşil düğüm ise hedef düğümdür. Mavi rota rota 1, kırmızı rota ise rota 2 olarak tanımlanmıştır. Bu benzetimde 3

kaynaktan bir tanesi önemli düğüm diğer ikisi normal düğüm olarak seçilmiştir. Benzetimin sağlıklı çalışması adına RREQ paket ömrü artırım parametresi (TtlIncrement) 4 olarak değiştirilmiştir. Düğümler sabit olup düğümlerin kapsama alanı 65 metredir. Düğümlerin pozisyon bilgileri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Örnek benzetim ağı düğüm lokasyonları

Düğüm Adı	X Koordinatı	Y Koordinatı
Kaynak 1	50	0
Kaynak 2 (Önemli Düğüm)	85	0
Kaynak 3	120	0
Ara Düğüm 1	85	40
Ara Düğüm 2 (Önemli Düğüm)	50	80
Ara Düğüm 3 (Önemli Düğüm)	50	120
Ara Düğüm 4 (Normal)	120	80
Ara Düğüm 5 (Normal)	150	100
Ara Düğüm 6 (Normal)	170	130
Ara Düğüm 7 (Normal)	130	180
Hedef	85	160

Bu benzetimde üç kaynak düğüm de aynı anda iletişime başlayıp 30 saniye boyunca hedef düğüme paket göndermektedir. AODV böyle bir ağda ilk olarak birinci rotayı tercih edecektir ve tüm kaynaklar paketleri hedefe aynı rotadan ulaştıracaktır. PRIO-AODV ise hedeften dönen RREP paketleri sayesinde ikinci rotadan haberdar olacak ve düğümler bu rotayı ikinci yönlendirme tablolarına ekleyeceklerdir. Normal düğüm iletişimlerinde ikinci yönlendirme tablosu kullanıldığından dolayı birinci ve üçüncü kaynak ikinci rotayı tercih edecektir. Birinci rotadaki düğümlerin iş yükü azalacağından dolayı uçtan uca gecikme ve paket iletim oranında artış beklenmektedir.

AODV ve PRIO-AODV için ayrı ayrı test yapılmıştır. Çizelge 3.2’de AODV testi sonuçları, Çizelge 3.3’te PRIO-AODV testleri sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 3.2 : AODV örnek benzetim sonuçları

	Akış 1 Kaynak 1 - Hedef	Akış 2 Kaynak 2 - Hedef	Akış 3 Kaynak 3 - Hedef	Ortalama
Paket İletim Oranı	%98,90	%99,45	%98,90	%99,08 Ortalama
Ortalama Gecikme	0.0185 s	0.0153 s	0.0178 s	0.0172 s Ortalama
Alınan Bithızı	146.80 kbps	147.37 kbps	146.77 kbps	440.95 kbps Toplam

Çizelge 3.3 : PRIO-AODV örnek benzetim sonuçları

	Akış 1 Kaynak 1 - Hedef	Akış 2 (Önemli D.) Kaynak 2 - Hedef	Akış 3 Kaynak 3 - Hedef	Ortalama/ Toplam
Paket İletim Oranı	%99,27	%99,45	%98,90	%99,21 Ortalama
Ortalama Gecikme	0.0227 s	0.0147 s	0.0227 s	0.0200 s Ortalama
Alınan Bithızı	147.15 kbps	147.45 kbps	146.86 kbps	441.47 kbps Toplam

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te sunulan sonuçlarda önemli düğümün iletişim hızında artış olup normal düğümlerin iletişim hızlarının yavaşladığı görülmektedir. İkinci yönlendirme tablosunun kullanılması ağ meşguliyetinin normal düğümlerin olduğu tarafa kaymasını sağlamıştır. Bu sayede önemli düğümden çıkan paketler daha hızlı hedefe ulaşmıştır. Ağın genel gecikme ortalaması ise AODV'ye göre daha düşük olmuştur. Bu kısa benzetimde paket iletim oranı hakkında yorum yapmak için yeteri kadar düğüm ve bağlantı bulunmadığından paket iletim oranları sonuç bölümünde incelenecektir.

3.2.1 PRIO-AODV Yönlendirme Tablosu Geliştirmeleri

AODV protokolünde her bir düğüm tek bir yönlendirme tablosu tutar ve bu tabloya göre yönlendirme işlemlerini yaparlar. PRIO-AODV protokolünde AODV yönlendirme tablosuna önem derecesi (emergency) adında 8 bitlik bir alan

eklenmiştir. Önem derecesi parametresi dönen RREP paketinin kaç tane önemli düğüm üzerinden geçtiğini belirten bir parametredir. Böylece sıçrama sayısı ve sıra numarasının yanı sıra yeni rota seçerken önem derecesine de önem verilmektedir. AODV ve PRIO-AODV yönlendirme tabloları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

AODV Yönlendirme Tablosu
• Hedef IP Adresi • Ağ Geçidi (Gateway) • Arayüz • İşaret • Bitiş Zamanı • Sıçrama Sayısı

Şekil 3.2: AODV Yönlendirme Tablosu

PRIO-AODV Yönlendirme Tablosu
• Hedef IP Adresi • Ağ Geçidi (Gateway) • Arayüz • İşaret • Bitiş Zamanı • Sıçrama Sayısı • Önem Derecesi

Şekil 3.3: PRIO-AODV Yönlendirme Tablosu

Yönlendirme tablosunda bulunan parametrelerin açıklamaları aşağıda liste halinde verilmiştir.

- Hedef IP Adresi: Hedef düğümün IP adresi.
- Ağ Geçidi: Hedef düğümün bulunduğu ağın giriş IP adresi.
- Arayüz: Paketin bir sonraki düğüme ya da hedef düğüme giderken kullanılan ağ arayüzü.
- İşaret: Yönlendirme tablosu kaydının durumunu belirtir. Geçerli (valid), geçersiz (invalid), düzenlenebilir (repairable), düzenlenmekte olan (being repaired) olmak üzere dört çeşit vardır.
- Bitiş Zamanı: Yönlendirme tablosu kaydının bulunduğu durumdan bir sonraki duruma geçmesi için gereken süre.

- Sıçrama Sayısı: Hedef düğümünden kaynak düğüme olan sıçrama sayısı.
- Önem Derecesi (PRIO-AODV): Hedef düğüm ile kaynak düğüm arasında bulunan önemli düğüm sayısı.

PRIO-AODV’de her bir düğüm 2 tane yönlendirme tablosu bulundurmaktadır. Birinci yönlendirme tablosu geleneksel AODV yönlendirme tablosu gibi çalışmaktadır. İkinci yönlendirme tablosu ise normal düğümler tarafından öncelikli olarak tercih edilmektedir. Bir diğer deyişle normal bir düğüm herhangi bir düğüme paket göndermek istediği zaman ilk olarak ikinci yönlendirme tablosunu kontrol eder eğer rota bulunamazsa birinci yönlendirme tablosuna bakılır. Önemli düğümler için bu işlem tam tersi olarak çalışmaktadır. Önemli düğümler ilk olarak daha hızlı rotanın kaydedildiği birinci yönlendirme tablosunu kontrol eder, rota bulunduğu takdirde iletişim başlatılır.

İkinci yönlendirme tablosuna kayıt eklenebilmesi için birinci yönlendirme tablosunda hedef düğüme ait kaydın bulunması gerekmektedir. Yeni gelen rotanın sıra numarası aynı, sıçrama sayısı birinci yönlendirme tablosundaki kayıt ile aynı ya da bu kayıttan fazla ve önemli düğüm sayısı birinci yönlendirme tablosundaki kayıttan az ise ikinci yönlendirme tablosuna eklenmektedir. İkinci yönlendirme tablosunun amacı hedefe olan güncel rotaları tutmakla beraber daha fazla sıçrama sayısına sahip olmasına rağmen daha az önemli düğüm barındıran rotaları bulundurmaktır. Normal düğümler için önemli düğümlerden kaçınmak sıçrama sayısından daha önemlidir.

3.2.2 PRIO-AODV Paket Geliştirmeleri

PRIO-AODV’de paketlerin ilk olarak hangi düğümünden yola çıktıkları ve üzerinden geçtikleri düğüm tipleri önem taşımaktadır. Bu sebeple RREQ, RREP paketlerinde ve IPv4 başlığında değişiklikler yapılmıştır.

AODV RREQ mesaj formatı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: AODV RREQ mesaj formatı

AODV RREQ mesaj formatı içeriklerinin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- **Tip:** Paket tipini belirtir. RREQ paketi için 1 değerini almaktadır. 1 Byte boyut kaplamaktadır.
- **İşaretler:** J, R, G, D ve U olmak üzere 5 farklı işaret bulunmaktadır. Her bir işaret bir bitlik alan kaplamaktadır. J ve R işaretleri çoklu notkaya gönderim esnasında kullanılmak üzere ayrılmıştır. G (Gratuitus Flag) işareti ara düğümün kaynak düğüme karşılıksız cevap göndermesini mümkün kılmaktadır. D (Destination Only Flag) sadece kaynaktan RREP paketi dönülmesi istendiğinde kullanılmaktadır. U, RREQ paketi bilinmeyen sıra numarası içerdiğini belirtmektedir.
- **Yedek Alan (Reserved), Önemli Düğüm Sayısı (PRIO-AODV):** AODV’de 0 olarak gönderilir. PRIO-AODV bu alanı önemli düğüm sayısı alanı olarak kullanılmaktadır. Yedek alan değeri RREQ’in geçtiği her önemli düğüm için bir artırılmaktadır.
- **Sıçrama Sayısı:** RREQ mesajının bulunduğu düğüm ile kaynak düğüm arasındaki sıçrama sayısını belirtmektedir.
- **RREQ ID:** Benzersiz RREQ id numarasıdır. Ara düğümler aynı id numarasına sahip ve aynı kaynaktan çıkmış RREQ’leri düşürülür.
- **Hedef Düğüm IP Adresi:** Hedef düğüm IP adresi bilgisini içermektedir.
- **Hedef Düğüm Sıra Numarası:** Hedef düğüm sıra numarası bilgisini içermektedir.
- **Kaynak Düğüm IP Adresi:** Kaynak düğümün IP adresi bilgisini içermektedir.

- Kaynak Düğüm Sıra Numarası: Kaynak düğümün sıra numarası bilgisini içermektedir [25].

PRI0-AODV RREQ mesajının yedek alanından faydalanmaktadır. Bu alanı önemli düğüm sayısı olarak kullanarak yeni bir paket tipi oluşturmada geleneksel AODV paketleri ile iletişimi sağlamaktadır. Ayrıca yukarıda bahsedildiği üzere rota keşfi esnasında hedef düğüm ya da hedef düğüme aktif rotası bulunan düğüm aynı kaynak düğümünden gelen tüm RREQ'ler RREP mesajları döndürür. Bu sayede sıçrama sayısı fazla ve önemli düğüm sayısı az olan rotaların keşfi mümkün olur.

Ara düğümlerin, hedef düğüm rotasındaki önemli düğüm sayısı ile kaynak düğüm rotasındaki önemli düğüm sayısı farklı olabilir. Bu sebeple RREP paketlerinde de aynı RREQ paketinde olduğu gibi bir alan, önemli düğüm için ayrılmış olup paketin her geçtiği önemli düğüm için 1 artırılmaktadır. Şekil 3.5'te RREP paket formatı gösterilmektedir.



Şekil 3.5: AODV RREP mesaj formatı

RREP mesaj format içerikleri açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- Tip: Paket tipini belirtir. RREP paketleri 2 değerini almaktadır.
- İşaretler: A ve R olmak üzere iki işaret bulunmaktadır. R (repair flag), çoklu yayın için kullanılmaktadır. A (acknowledgment flag), paket alındı bilgisi geri dönülmesi istendiği zaman kullanılır. ns-3'de işaretler alanı 8 bit olarak belirlenmiştir. A ve R işaretleri toplamda 2 bitlik alan kaplamaktadır. Kalan 6 bitlik alan ise önemli düğüm sayısı parametresini içermektedir. Paketin geçtiği her önemli düğüm için bu değer 1 artırılmaktadır.

- Ön ek boyutu: Eğer 0 ise, 5 bitlik ön boyutu, belirtilen sonraki sekmenin, istenen hedefle aynı yönlendirme ön ekine sahip herhangi bir düğüm için kullanılabileceğini belirtir.
- Paket Yaşam Süresi: RREP paketini alan düğümlerin rotayı geçerli olarak işaretledikleri süre (milisaniye) [25].

Düğümlerde, yönlendirme tablosunda ve yönlendirme protokolünde yapılan işlemler rota oluşturulduktan sonra işlevsiz kalmaktadır. İletişim esnasında bu yapılan geliştirmelerin çalışması için kullanılan veri transferi protokolünde düzenleme yapmak gereklidir. Bu sebeple IPv4 paket başlıklarında kaynak düğümün önemli olup olmadığını belirten bir parametre kullanılmıştır. IPv4 paket başlık formatı Şekil 3.6'da verilmiştir. IPv4 paketinin her bir satırı 32 bit, 4 byte'dır.

Sürüm	Başlık Uzunluğu	Servis Tipi	Toplam Uzunluk	
Tanımlayıcı			İşaretler	Parça Konumu
Yaşama Süresi	Protokol		Başlık Kontrol Parametresi	
Kaynak Adres				
Hedef Adres				
Ayarlar				Başlık Sonu Doldurma

Şekil 3.6: IPv4 paket başlık formatı

Paketin önemli düğümden yola çıkıp çıkmadığını anlamak amacıyla IPv4'te bulunan şeytan biti kullanılmaktadır. Şeytan biti, S. Bellovin tarafından 2003'te yayınlanmıştır [26]. Bir bitlik alan PRIO-AODV'nin çalışabilmesi için yeterlidir. 0 değeri paketin normal düğümden yola çıktığını belirtirken şeytan bitinin 1 olması paketin önemli düğümden yola çıktığını belirtmektedir.

3.3 PRIO-AODV Benzetim Modeli

Benzetim işlemi, bir ağın kullanıcı ya da sistem tarafından belirlenen koşullar altındaki tepkisini ölçmek, davranışlarını incelemek ve bu işlemlerin sonucunda

birtakım verilerin elde edilmesi amacıyla yapılan bir taklittir. PRIO-AODV benzetimi ns-3 ayırık-zamanlı ağ benzetim uygulaması ile yapılmıştır.

3.3.1 ns-3 Benzetim Yazılımı

ns-3 ayırık-zamanlı ağ benzetim uygulaması öncelikli olarak araştırma ve eğitim alanlarında kullanılmayı amaçlamaktadır. Ücretsiz bir yazılım olup, GNU GPLv2 altında lisanslanmıştır ve araştırma, geliştirme ve kullanım için halka açık bir yazılımdır.

ns-3 projesi iyi yapılandırılmış, kullanımı kolay, hata ayıklamayı mümkün kılan ve benzetim yapılandırmasından veri akışı izleme, veri toplama, analiz etme işlemlerine olanak sağlayan bir benzetim ortamı kurulmasını sağlar.

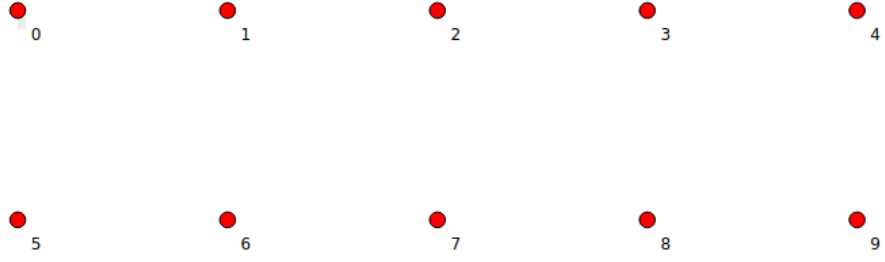
ns-3 benzetim çekirdeği hem IP tabanlı olan hem de IP tabanlı olmayan ağlar üzerinde araştırma ve benzetim yapma imkanı sunar. Ayrıca gerçek zamanlı ve gerçek ortamda çalışma imkanı da sağlayabilen ns-3 günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmakta ve geliştirilmektedir. 2017 yılından itibaren günümüze yapılan araştırmalar arasında 2000’den fazla araştırmada benzetim ortamı olarak ns-3 seçilmiştir. Günümüzde halen ns-3’ün geliştirilmesine devam edilmektedir [26].

Bu tez çalışmasında ns-3 benzetim yazılımının tercih edilmesinin başlıca nedenleri şunlardır:

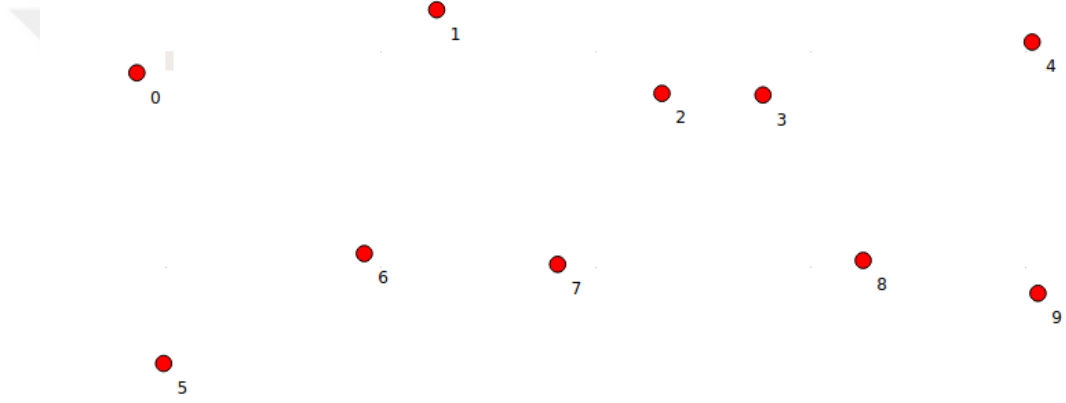
- Açık kaynaklı olup geniş bir topluluğa sahip olması,
- Kullanım kolaylığı ve görsel benzetimler sunması,
- Benzetim sonuçlarının işlenebilir ve anlaşılabilir olmasıdır.

3.3.2 PRIO-AODV Modeli

Bu bölüm ağ topolojisinin oluşturulduğu, düğümlerin gösterildiği, ağ ve yönlendirme protokolü parametrelerinin gösterileceği kısımdır. 10 düğümün bulunduğu benzetimde düğümler ilk olarak 1000m x 1000m’lik bir alana Şekil 3.7’deki gibi düzgün bir şekilde dağıtılmıştır ve düğümler rastgele hareket modeline göre hareket etmektedir. İletişim, toplamda 180 saniye olan benzetim süresinin 40. saniyesinde başlamaktadır. Böylelikle düğümler Şekil 3.8’deki pozisyona gelecektir ve rastgelelik artırılmış olacaktır.

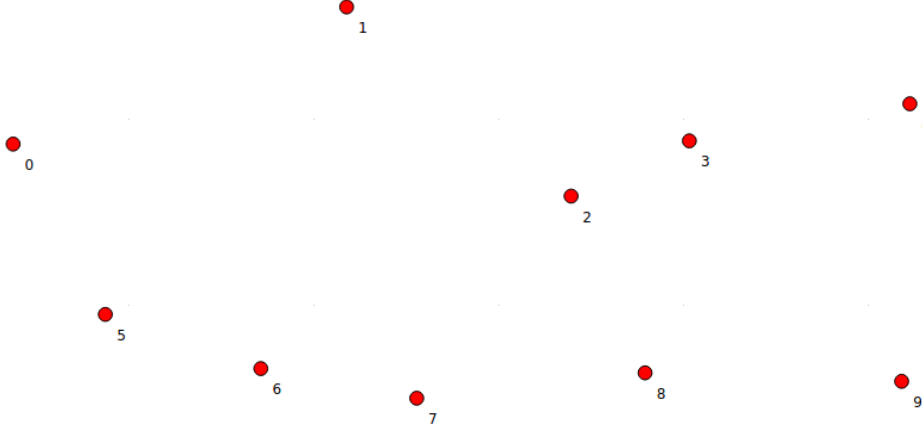


Şekil 3.7: Başlangıç anında ağ topolojisi



Şekil 3.8: 40. saniyede ağ topolojisi

Başlangıç durumunda düğümler arasındaki uzaklık 40 metre olarak belirlenmiştir. Düğümlerin erişim yarı çapı ise 65 metredir. Ağdaki düğümler benzetim süresi boyunca sürekli hareket halindedir. Düğümler arası iletişim 40. saniye ile 170. saniyeye kadar yapılmaktadır. 170. saniyedeki düğümlerin dağılımı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: 170. saniyede ağ topolojisi

Dinamik ağlarda komşuluklar sürekli olarak değişebilmektedir. Ağın buna bir an önce uyum sağlaması iletişim sağlığı açısından çok önemli bir durumdur.

Yukarıda verilen benzetim şartları altında PRIO-AODV protokolü uçtan uca gecikme, paket iletim oranı ve paket alım hızı parametreleri açısından incelenmiştir. Bu parametrelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

Ortalama uçtan uca gecikme: Paketin kaynak düğümden hedef düğüme ulaşımı esnasında geçen süredir.

Paket iletim oranı: Hedef düğüme ulaşan paketlerin, kaynak düğümden çıkan paketlere oranıdır.

Paket alım hızı: Tüm ağ kapsamında hedef düğüm tarafından saniyede alınabilen toplam paket sayısıdır.

3.4 Sonuç

Bu bölümde PRIO-AODV protokolü için yapılan geliştirmelerden detaylıca bahsedilmiştir. Ayrıca benzetim ortamında yapılan test için ise bir örnek topoloji sunulmuştur. 4. bölümde benzetim parametreleri detaylıca verilecek olup benzetim sonuçları incelenecektir.

4 ÖRNEK BİR AĞ BENZETİM VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

4.1 Giriş

PRIO-AODV başarımlı değerlendirme örnekl bir hareketli tasarsız ağ senaryosunda ele alınmıştır. Sonuçlar AODV protokolü ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma metrikleri olarak uçtan uca gecikme ve paket iletım oranı ele alınmıştır. Bu metrikler literatürde bulunan çalışmalarda sıklıkla kullandığı için tercih edilmiştir.

4.2 Benzetim Parametreleri

PRIO-AODV başarımlı değerlendirme ns-3 benzetim yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Uçtan uca gecikme ve paket iletım oranı değeri için örnekl bir senaryo oluşturulmuştur. Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere senaryo toplam 180 saniye olup 40. saniye ile 170. saniye arasında iletişim gerçekleşmektedir. 5 farklı düğüm sayısında benzetimler yapılmıştır. Benzetim ağ parametreleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Benzetim ağ parametreleri

Parametre	Değer
Benzetim Alanı	1000m x 1000m
Başlangıç Anında Düğümler Arası Mesafe	40m
Düğümmlerin Kapsama Alanı	65m
Düğüm Sayısı	10 – 20 – 30 – 40 – 50
Bağlantı Sayısı	Düğüm Sayısı
Ağdaki Önemli Düğüm Sayısı	Düğüm Sayısı / 3
Benzetim Süresi	180 saniye
Aktif Benzetim Süresi	130 saniye (40 sn – 170 sn arası)

Ağın rastgelelik oranını artırmak amacıyla başlama anından 40 saniye sonra iletişim başlamaktadır. 10, 20, 30, 40 ve 50 düğümden oluşmak üzere 5 farklı ağ hem PRIO-AODV hem de AODV yönlendirme protokolü ile en az 10 kere olmak üzere test edilmiştir. Ağdaki önemli düğüm sayısının çok fazla olmaması için düğüm sayısının

3'te 1'i önemli düğüm olarak kabul edilmiştir. Bağlantı sayısı ise düğüm sayısı ile eşit sayıda kabul edilmiştir. 10 düğümlü benzetim 3. bölümde şekillerle anlatılmıştır.

Benzetimlerde kullanılan AODV yönlendirme protokolünün güncellenen parametreleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : AODV'de değişiklik yapılan parametreler

Parametre	Varsayılan Değer	Yeni Değer
AllowedHelloLoss	2	5
RerrRateLimit	10	3
TtlIncrement	2	4
TtlThreshold	7	14

AllowedHelloLoss (İzin Verilen Kayıp Hello Paketleri): Aktif rotayı pasife çekmek için kaç tane hello paketinin alınmamasını gerektiğini belirten parametredir. Ağ hareketli olduğundan bağlantının hello paketlerinden dolayı hemen kopmaması için artırılmıştır.

RerrRateLimit (RERR paketi gönderme limiti): 1 saniyede gönderilebilecek en fazla RERR paketini ifade eder.

TtlIncrement (Paket ömrü artırımı): Rota bulma işlemi halka genişletme algoritması ile yapılmaktadır. Kaynak düğüm RREQ gönderdikten sonra belli bir süre bekler ve RREP gelmez ise RREQ'in paket ömrü artırılır ve tekrar gönderilir.

TtlThreshold (Paket ömrü sınırı): RREQ paket ömrü bu sınıra ulaştığında hala bir rota bulunamadıysa, yeni rota bulunan kadar bu sınırdan yüksek bir paket ömrüne sahip bir RREQ gönderilir [26].

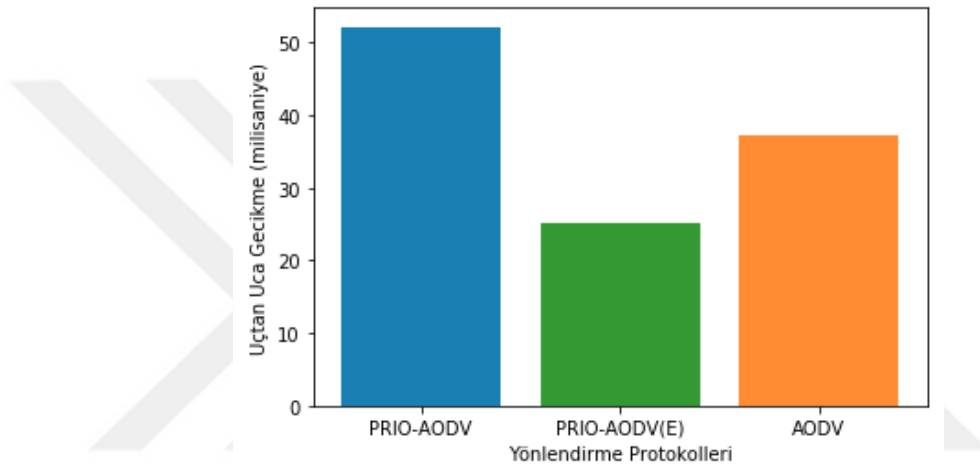
Benzetim, ns-3.30.1 sürümünün ubuntu 18.04 işletim sistemi üzerinde çalıştırılması ile yapılmıştır. ns-3.30.1 ve ubuntu 18.04 sürümleri tez çalışmasına başlandığında en güncel sürümler olduğundan dolayı seçilmiştir.

4.3 Başarım Değerlendirmesi

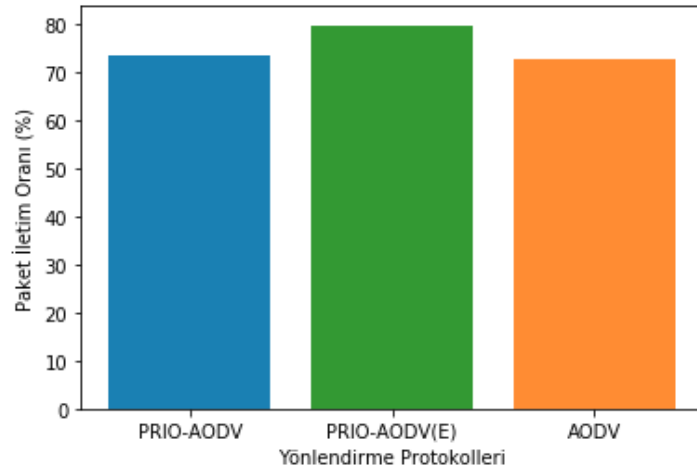
PRIO-AODV yönlendirme protokolü yukarıda verilen veriler ile birlikte 5 farklı düğüm & bağlantı sayısı ile test edilmiştir. Diğer parametreler sabit bırakılıp ağdaki

yoğunluğun kullanılan protokolleri nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Her bir düğüm & bağlantı sayısı için en az 10 test yapılmış olup gösterilen değerler ortalama değerlerdir. 10 test ortalama değerleri ile 20 test ortalama değerleri arasında sonuç değiştiren bir farklılık görülmediğinden daha fazla test yapma ihtiyacı duyulmamıştır.

10 düğüm & bağlantı testi: Bu topolojide 10 düğüm bulunmaktadır. Düğümler başlangıç zamanında birbirlerinden 45 metre uzaklıkta ve beşerli iki sıra halinde dizilmiştir. 10 bağlantı, aktif benzetim süreci içine rastgele olarak dağıtılmıştır. 3 önemli düğüm bulunduran benzetimin sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1: 10 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği

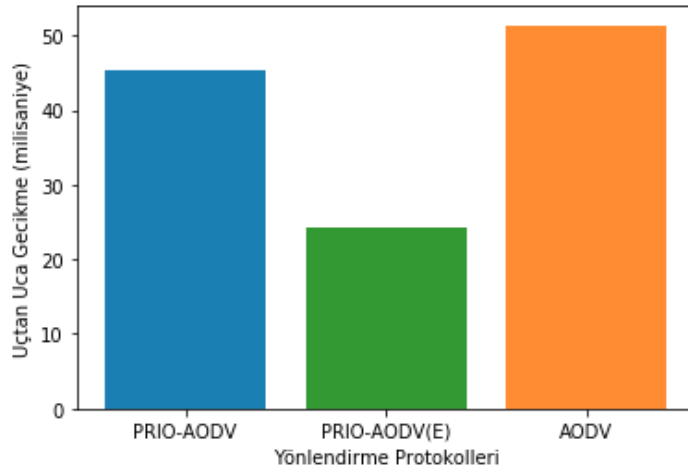


Şekil 4.2: 10 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği

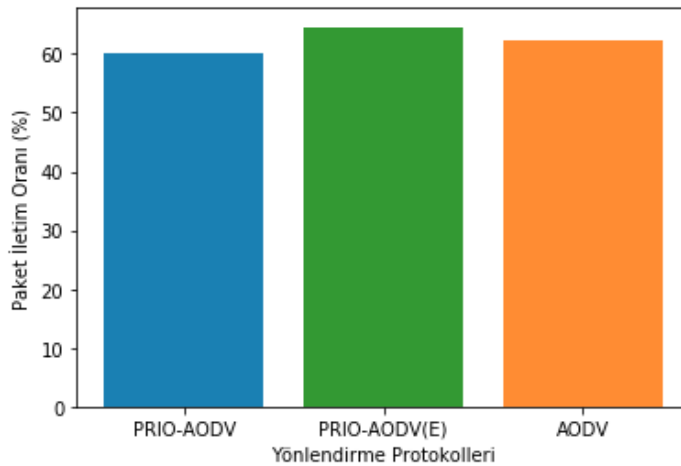
Şekil 4.1'teki sonuçlar değerlendirildiğinde, PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin hem geleneksel AODV'ye göre hem de PRIO-AODV tüm ağ performansına göre paket gecikmelerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. PRIO-AODV tüm ağın

ortalama paket gecikmesi 52.20 ms, PRIO-AODV önemli düğümlerin 25.09 ms ve AODV'nin 37.18 ms olarak ölçülmüştür. PRIO-AODV'deki önemli düğümler AODV'ye göre %32.5 daha hızlı paket iletimi gerçekleştirmiştir. Şekil 4.2'de ise paket iletim oranlarının grafiği verilmiştir. Paket iletim oranı metriğinde de PRIO-AODV önemli düğümleri daha fazla paket iletim oranı ile öne çıkmaktadır. Paket iletim oranları ise, PRIO-AODV tüm ağ için %73.61, PRIO-AODV önemli düğümler için %79.83 ve AODV için %72.73 olarak ölçülmüştür. PRIO-AODV'deki önemli düğümler AODV'ye göre paket iletim oranı açısından %9.7 daha başarılı bulunmuştur.

20 düğüm & bağlantı testi: 20 düğüm ve bağlantının bulunduğu bu topolojide düğümler başlangıç zamanında 5erli 4 sıra oluşturmaktadır. Toplam 6 önemli düğüm bulunduran testin sonuçları aşağıdaki gibidir.



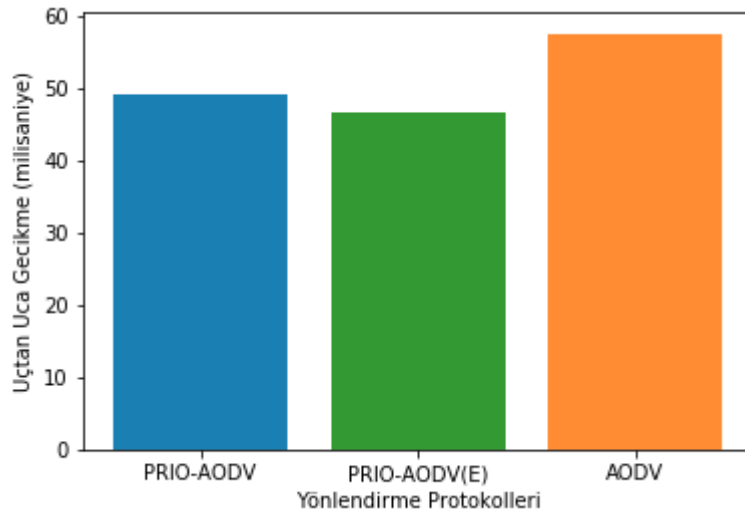
Şekil 4.3: 20 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği



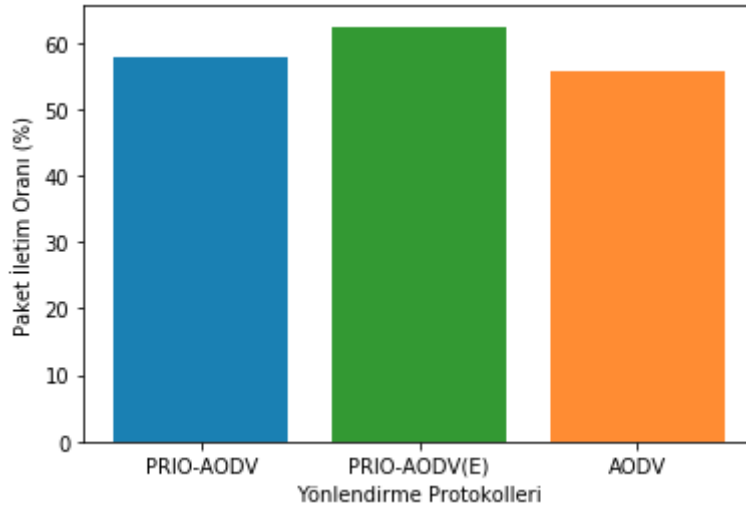
Şekil 4.4: 20 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği

Şekil 4.3'teki veriler, PRIO-AODV yönlendirme protokolündeki önemli düğümlerin hem PRIO-AODV'nin tüm ağ performansına göre hem de AODV'nin performansına göre çok daha verimli olduğunu göstermektedir. PRIO-AODV, PRIO-AODV önemli düğümler ve AODV yönlendirme protokollerinin ortalama gecikme süreleri sırası ile 45.41 ms, 24.33 ms ve 51.36 ms olarak hesaplanmıştır. Buna göre PRIO-AODV önemli düğümlerinin AODV'ye göre %52.6 daha hızlı olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'te ise PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin diğer protokollere göre paket iletim oranının daha iyi olduğu görülmektedir. Yukarıdaki sıra ile yöntemlerin paket iletim oranları, %60.3, %64.6 ve %62.2 olarak hesaplanmıştır. PRIO-AODV önemli düğümlerinin AODV'ye göre paket iletim oranının %3.9 daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. PRIO-AODV tüm ağ performansı ile AODV performansı hareket, bağlantı ve bağlantı sürelerinin rastgele olmasından dolayı birbirlerine yakın çıkabilmektedir.

30 düğüm & bağlantı testi: Bu benzetimde 30 düğüm & bağlantı bulunmaktadır. Düğümler başlangıç anında 5erli olarak 6 sıra halinde sıralanmıştır. 10 önemli düğümün bulunduğu benzetimin sonuçları aşağıdaki gibidir.



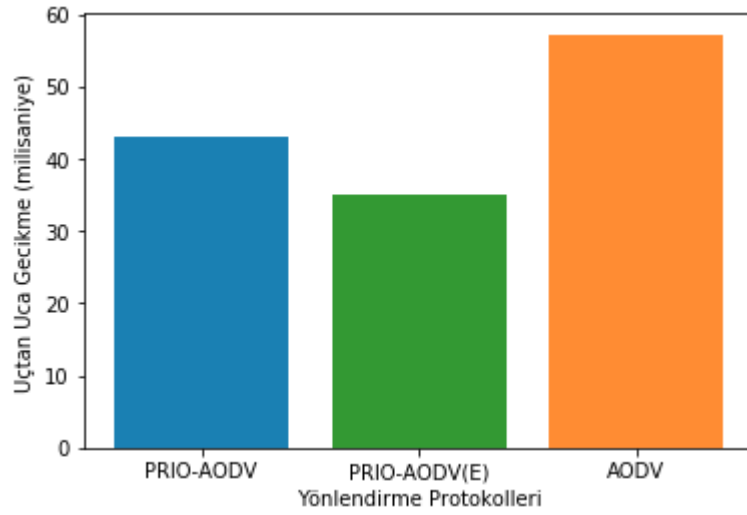
Şekil 4.5: 30 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği



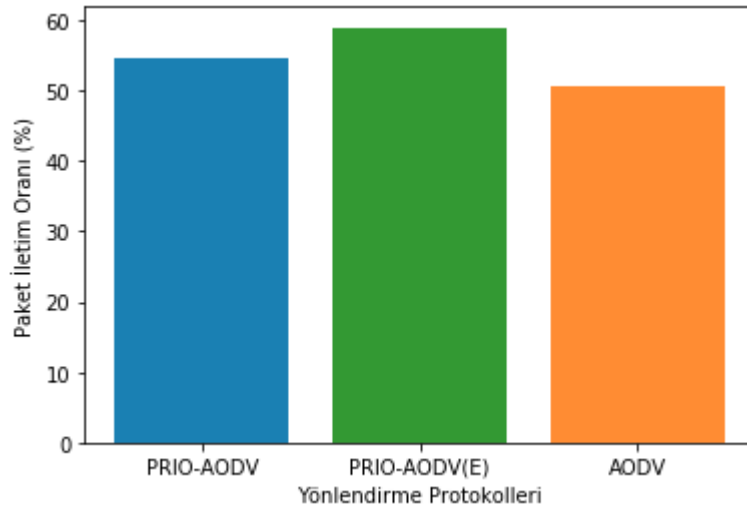
Şekil 4.6: 30 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görüldüğü üzere PRIO-AODV önemli düğümleri hem uçtan uca gecikmede hem de paket iletim oranında PRIO-AODV tüm ağa ve AODV’ye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. PRIO-AODV, PRIO-AODV önemli düğümler ve AODV yönlendirme protokollerinin ortalama gecikme süreleri sırası ile 49.25 ms, 46.55 ms ve 57.56 ms olarak hesaplanmıştır. Buna göre PRIO-AODV önemli düğümlerinin AODV’ye göre %19.1 daha hızlı olduğu görülmektedir. PRIO-AODV ve AODV paket iletim oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Paket iletim oranları %57.9, %62.5 ve %55.6 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre PRIO-AODV, AODV’ye göre %12.4 daha fazla paket iletim oranına sahiptir. Ayrıca düğüm sayısının artmasıyla beraber tüm protokollerin performansında düşme gözlemlenmiştir.

40 düğüm & bağlantı testi: 40 düğüm & bağlantının bulunduğu bu benzetimde düğümler 5erli olarak 8 sıra oluşturmaktadır. 13 önemli düğümün bulunduğu benzetimin sonuçları aşağıdaki gibidir.



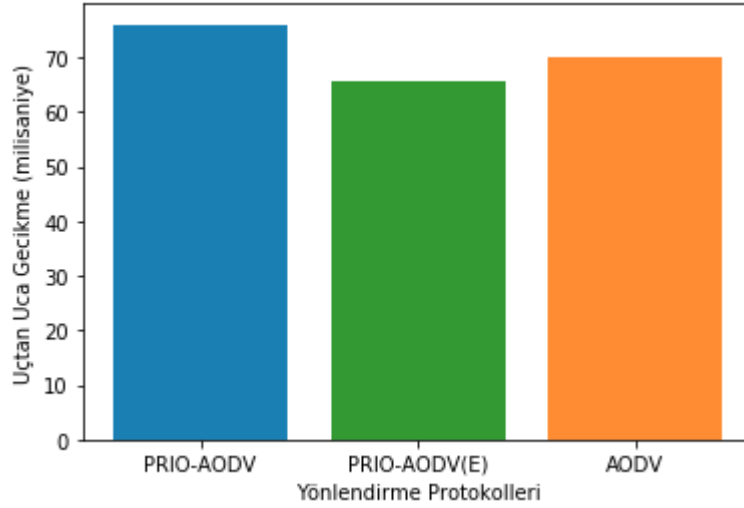
Şekil 4.7: 40 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği



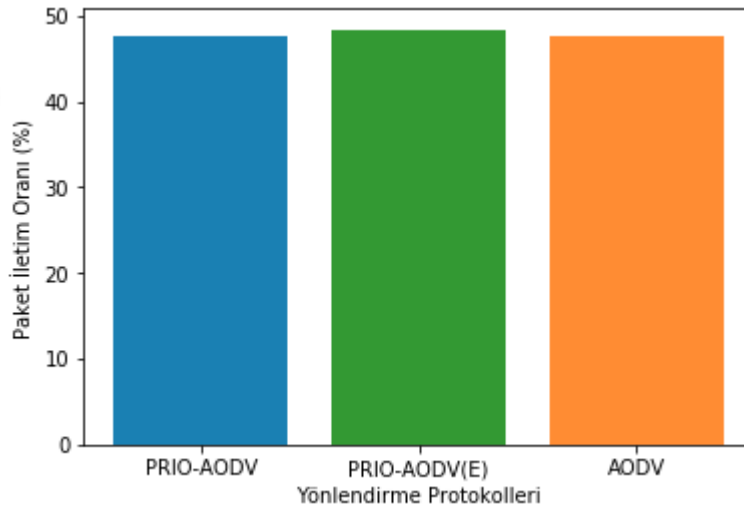
Şekil 4.8: 40 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği

Bir önceki benzetime benzer olarak, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin PRIO-AODV ve AODV'ye göre daha verimli olduğunu göstermektedir. Uçtan uca gecikme değerleri sırası ile 43.12 ms, 35.07 ms ve 57.18 ms olarak hesaplanmıştır. Uçtan uca gecikmenin PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin AODV'ye göre %38.6 oranında azaldığı görülmektedir. Paket iletim oranları ise sırası ile %54.5, %59 ve %50.6'dır. Bu değerlere göre PRIO-AODV'deki önemli düğümler AODV'ye göre %16.6 oranında daha fazla paket iletimi gerçekleştirmiştir. PRIO-AODV tüm ağ sonuçları ve AODV sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

50 düğüm & bağlantı testi: 50 düğüm & bağlantı bulunduran benzetimde düğümler başlangıç anında 5erli olarak 10 sıra oluşturmaktadır. Toplam 16 düğümün önemli düğüm olduğu bu benzetimin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.9: 50 düğümlü benzetimin uçtan uca gecikme grafiği

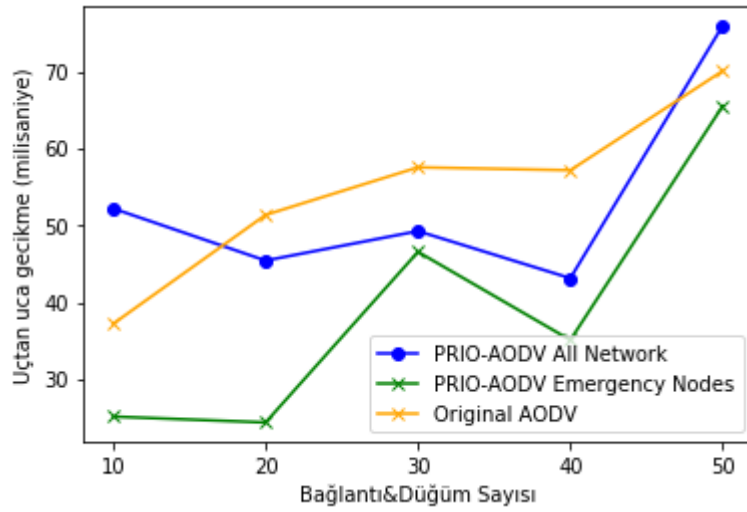


Şekil 4.10: 50 düğümlü benzetimin paket iletim oranı grafiği

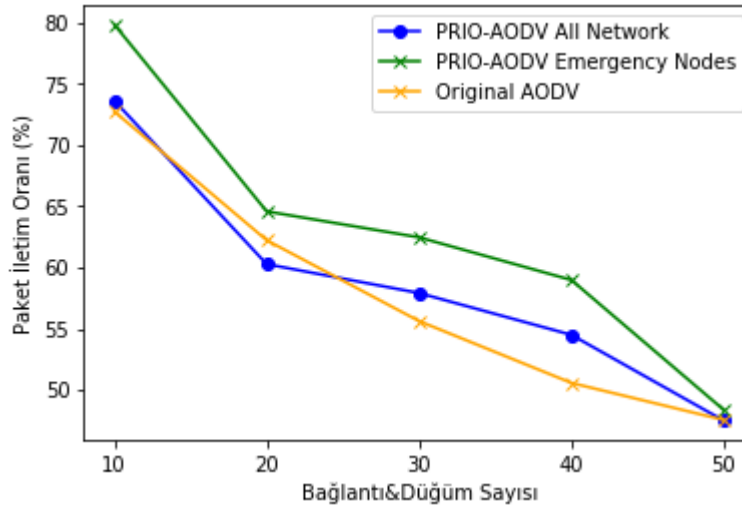
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'daki veriler, düğüm sayısının artmasıyla her iki protokolün de performansının düştüğünü ve birbirine yaklaştığını göstermektedir. Uçtan uca gecikme değerleri sırası ile 76.02 ms, 65.56 ms ve 70.13 ms olarak ölçülmüştür. PRIO-AODV'deki önemli düğümler AODV'ye göre %6.4 oranında daha iyi bir performans göstermiştir. Paket iletim oranları ise sırası ile %47.5, %48.4 ve %47.5 olarak hesaplanmış ve PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin AODV'ye göre %1.9

oranında daha verimli olduğu görülmektedir. Ufak birimlerde de olsa PRIO-AODV'deki önemli düğümler, PRIO-AODV ve AODV'ye göre daha verimli sonuçlar göstermektedir.

Tüm testlerin ortalaması alındığında PRIO-AODV'deki önemli düğümler AODV protokolüne göre hem uçtan uca gecikme hem de paket iletim oranının göz önüne alındığında daha verimli bir performans gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12, uçtan uca gecikme ve paket iletim oranı ortalamalarını grafik halinde sunmaktadır.



Şekil 4.11: Ortalama uçtan uca gecikme grafiği



Şekil 4.12: Ortalama paket iletim oranı grafiği

Tüm senaryoların sonuçlarının ortalamaları alındığında PRIO-AODV'deki önemli düğümler, geleneksel AODV'ye göre uçtan uca gecikmede %29.8 oranında, paket

iletim oranında ise %8.9 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında PRIO-AODV'deki önemli düğümlerin hem paket iletim oranının hem de uçtan uca gecikme metriklerinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4.4 Sonuç

Bu bölümde PRIO-AODV'nin hareketli tasarsız ağda benzetimi ve başarımlarını değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan benzetimler, parametreleri, düğüm lokasyonları ve adetleri sunularak tüm detayları ile açıklanmıştır. Her bir benzetim senaryosu için en az 10 test yapılmış olup bunların ortalamaları alınmıştır. Sonuçlar grafik halinde PRIO-AODV tüm ağ, PRIO-AODV önemli düğümler ve AODV protokolü göz önünde bulunarak değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Tez kapsamında geliştirilen PRIO-AODV protokolünün önemli düğümler açısından başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Temel bir tasarsız ağ yönlendirme protokolü olan AODV bir çok problem barındırmaktadır. Rota yoğunluğunun hesaplanmaması bunlardan biridir. Ağ topolojisinin dağılımına bağlı olmakla birlikte, iletişimin büyük bir bölümü ağın ufak bir kısmına dağılabilir. Bu da iletişimin yavaşlamasına hatta paket kaybına neden olabilir. Bu tez çalışmasında MANET için acil durum senaryoları düşünülerek PRIO-AODV protokolü tasarlanmıştır. PRIO-AODV protokolü ağda bulunan önemli düğümlerin önceliklendirilmesi prensibine dayalıdır. Önemli düğümlerin bağlantılarının uçtan uca gecikme süresini azaltmayı ve paket iletim oranını artırmayı amaçlar. AODV protokolünü temel alarak tasarlanan PRIO-AODV, AODV’de kullanılan temel mekanizmalarda değişiklikler yapılarak geliştirilmiştir. Bunlar; rota keşfi, düğüm ve yönlendirme tablosudur.

Geliştirilen yeni protokol bir acil durum senaryosu benzetiminde test edilip başarımlı değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda PRIO-AODV’de bulunan önemli düğümlerin uçtan uca gecikme süresinin AODV protokolü ile karşılaştırıldığında daha az olduğu ve paket iletim oranının ise daha fazla olduğu görülmüştür. İletim yükünün yedek rotalar sayesinde tüm ağa yayılmasından dolayı PRIO-AODV sadece önemli düğümler için değil tüm ağ için değerlendirildiği zaman da AODV’ye yakın ya da AODV’den daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

5.2 Tartışma ve Öneriler

PRIO-AODV protokolü benzetim ortamında kurulan yapay acil durum senaryosunda test edilmiş ve AODV protokolüne karşı başarılı sonuçlar göstermiştir. AODV protokolünün bağlantı katmanında veri iletişimi yapması rota hatası gibi sonuçlar getirebilmektedir. PRIO-AODV protokolünde birden fazla RREP döndüğü için daha uygun rota bulunduğunda rota değişim işlemi yapılmaktadır. Bu gibi durumlarda AODV protokolünün bağlantı katmanındaki veri transferinden dolayı düğümler sıklıkla RERR göndermektedir. Bu alanda yapılacak olan bir çalışma uçtan uca gecikmeyi daha da azaltabilir. Ayrıca yapılan benzetimler sonucunda her iki protokolde de düğüm sayısının artmasıyla beraber performans düşüklüğü görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] M. Frodigh, P. Johansson, P. Larsson, Wireless ad hoc networking: the art of networking without a network, Ericsson review. 4.4 (2000) 249-263.
- [2] Al A. Khaldoun, G. Pujolle, T. A. Yahya. Mobile and wireless networks. John Wiley & Sons, 2016.
- [3] J. Kurose, K. Ross. Computer networks: A top down approach featuring the internet, Peorsoim Addison Wesley, 2010.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Dynamic source routing in ad hoc wireless networks, Mobile computing, Springer. (1996) 153-181.
- [5] C. E. Perkins, P. Bhagwat, Routing over multi-hop wireless network of mobile computers, Mobile computing, Springer. (1994) 183-205.
- [6] C. E. Perkins, E. M. Royer, Ad-hoc on-demand distance vector routing, WMCSA'99, Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, IEEE 1999.
- [7] S-J. Lee, M. Gerla, AODV-BR: Backup routing in ad hoc networks, 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, IEEE 2000.
- [8] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M. Z. Ahmad, L. Bölöni, D. Turgut, Routing protocols in ad hoc networks: A survey, Computer networks 55.13 (2011) 3032-3080.
- [9] H. Yetgin, K. T. K. Cheung, M. El-Hajjar, L. H. Hanzo, A survey of network lifetime maximization techniques in wireless sensor networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials 19.2 (2017) 828-854.
- [10] P. Yi, Y. Wu, F. Zou, N. Liu, A survey on security in wireless mesh networks, IETE Technical Review 27.1 (2010) 6-14.
- [11] B. Paul, M. Ibrahim, M. Bikas, A. Naser Vanet routing protocols: Pros and cons, International Journal of Computer Applications 20.3 (2011) 28-34.
- [12] J. Moy, OSPF version 2, (1998).

- [13] B. T. Sharef, A. A. Raed, I. Mahamod, Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey, *Journal of network and computer applications* 40 (2014) 363-396.
- [14] T. Clausen, P. Jacquet, C. Adjih, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, L. Viennot, *Optimized link state routing protocol (OLSR)*, 2003.
- [15] S. Murthy, J. J. Garcia-Luna-Aceves, An efficient routing protocol for wireless networks, *Mobile Networks and applications*. 1.2 (1996) 183-197.
- [16] C. C. Chiang, H. K. Wu, W. Liu, M. Gerla, Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel, *IEEE SICON*. Vol. 97. No. 1997.4. 1997.
- [17] F. Cetinkaya, I. A. Dogru, M. Dorterler, R. Kocaoglu, E-AODV: a Protocol Devoted to Emergency and Rescue Scenarios for Mobile Adhoc Networks, *JOURNAL OF POLYTECHNIC-POLITEKNIK DERGISI* 21.3 (2018) 739-751.
- [18] V. D. Park, M. S. Corson, A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks, *INFOCOM'97*. Vol. 3. IEEE, 1997.
- [19] C. K. Toh, Associativity-based routing for ad hoc mobile networks, *Wireless Personal Communications*. 4.2 (1997) 103-139.
- [20] M. K. Marina, S. R. Das, On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks, *Ninth International Conference on Network Protocols. ICNP 2001*. IEEE, 2001.
- [21] T. A. Ramrekha, P. Christos, A hybrid adaptive routing protocol for extreme emergency ad hoc communication, *19th International Conference on Computer Communications and Networks*. IEEE, 2010.
- [22] M. S. Al-kahtani, K. Lutful, K. Nargis, Efficient Opportunistic Routing Protocol for Sensor Network in Emergency Applications, *Electronics*. 9.3 (2020) 455.
- [23] D. K. Sharma, N. P. Amar, K. Chiranjeev, P-AODV: A priority based route maintenance process in mobile ad hoc networks *Wireless Personal Communications*. 95.4 (2017) 4381-4402.

- [24] T. Qiu, X. Wang, C. Chen, M. Atiquzzaman, L. Liu, TMED: A spider-Web-like transmission mechanism for emergency data in vehicular ad hoc networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology. 67.9 (2018) 8682-8694.
- [25] C. Perkins, B. R. Elizabeth, S. Das, RFC3561: Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. (2003).
- [26] S. M. Bellovin, (2003). The security flag in the IPv4 header.
- [26] ns-3, a discrete-event network simulator for internet systems <https://www.nsnam.org/about/>, 2020.





ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Özgür ÖZKAYA

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy / İSTANBUL – 03.01.1993

E-Posta: ozgurozkaya93@gmail.com

Lisans: Yalova Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

[1] Ö. ÖZKAYA, Y. ÖZEN, A. TEPECİK, “A Priority Aware Routing Protocol for Emergency Mobile Ad Hoc Networks”, 6th Global Conference on Computer Engineering, (Kabul Edildi.)