

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FANET AĞLAR İÇİN
YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ TASARLAMA

SÜMEYYE KAYMAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FANET AĞLAR İÇİN
YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ
TASARLAMA

SÜMEYYE KAYMAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. HASARİ ÇELEBİ

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DESIGNING A ROUTING PROTOCOL
FOR FANET NETWORKS**

SÜMEYYE KAYMAK

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. HASARİ ÇELEBİ**

**GEBZE
2022**



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışması Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

:

ÜYE

:

ÜYE

:

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Kablosuz ağlar günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Tasarsız Ağlar, alt yapıya bağımlı olmaksızın kablosuz cihazların iletişim kurabileceği kablosuz ağların alt koludur. Tasarsız Ağlarda altyapıdan bağımsızlık durumundan kaynak cihazın iletişim aralığında olmayan hedef cihazlara erişimini sağlamak için ağdaki tüm cihazlar gerektiğinde yönlendirici görevi üstlenmektedirler. Hareketsiz düğümlerden oluşan tasarsız ağ kurulabileceği gibi düğümlerin hareketli olduğu bir mobil tasarsız ağ (MANET) kurmakta mümkündür. Mobil tasarsız ağlar askeri alanlar, afet durumları, akıllı araçlar, insansız hava araçları gibi pek çok uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada İnsansız Hava Araçlarından oluşan tasarsız bir ağda iletim gerçekleştirmek hedeflenmektedir.

Kablosuz ağlarda iletim gerçekleştirebilmek için yapılması gereken ilk işlem, haberleşecek cihazlar arasında veri paketlerinin gönderileceği yolun belirlenmesidir. İnsansız Hava Araçlarının (İHA) oluşturduğu Flying Ad hoc Network (FANET) ağlardakinin aksine hareketliliğin çok olmadığı ağlarda topolojinin sık değişimi ve buna bağlı olarak bağlantının sık kopma sorununun yaşanmamasından dolayı bir kez belirlenen iletim yolunun geçerliliği uzun süre devam etmektedir. Ancak FANET ağlarda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) hızlı hareket etmeleri mevcut veri yolunun geçerliliğinin son bulmasına ve sık sık yeni iletim yolunun belirlenmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada FANET ağlar için OLSR protokolüne dayanan, RSSI değerine bağlı bağlantı kalitesine göre iletim gerçekleştiren yeni bir yönlendirme protokolü sunulmaktadır. İki protokol paket teslim oranı, yönlendirme yükü ve uçtan uca gecikme kriterlerine bağlı olarak karşılaştırılmakta ve sonuçlar simülasyon sonuçları bölümünde sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: FANETs, MANETs, VANETs, OLSR, NS2 simülasyonu, Yönlendirme protokolü, RSSI.

SUMMARY

Wireless networks are used in many areas today. Ad-hoc Networks are the sub-branch of wireless networks in which wireless devices can communicate without being dependent on infrastructure. In Ad Hoc Networks, all devices in the network act as routers when necessary, in order to provide access to target devices that are not within the communication range of the source device due to the infrastructure independence. It is possible to establish an ad hoc network consisting of stationary nodes, or a mobile ad hoc network (MANET) with mobile nodes. Mobile ad hoc networks have many application areas such as military areas, disaster situations, smart vehicles, unmanned aerial vehicles. In this study, it is aimed to transmit in an ad hoc network consisting of Unmanned Aerial Vehicles.

The first thing to do in order to transmit in wireless networks is to determine the path to send data packets between devices to communicate. Contrary to the Flying Ad hoc Network networks, the validity of the transmission path, which is determined once, continues for a long time given that the topology in the networks where there is not much mobility isn't frequent change. However, the rapid movement of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in FANET networks leads to the expiration of the current data path and the determination of a new transmission path frequently. In this study, a new routing protocol based on the OLSR protocol for FANET networks is presented, which performs transmission according to the link quality depending on the RSSI value. The two protocols are compared based on the criteria of packet delivery rate, routing load, and end-to-end delay, and the results are presented in the simulation results section.

Key Words: FANETs, MANETs, VANETs, OLSR, NS2 simulation, Routing Protocol, RSSI.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Hasari ÇELEBİ'ye,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Yunus ÖZEN'e ve ns2 group yöneticisi Knud LARSEN'e ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili aileme ve sayın Orhan ÜNSÜR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı İçeriği	2
1.2. Literatür Çalışması Özetleri	3
2. AD HOC AĞLARDA YÖNLENDİRME	6
2.1. Uçan Geçici Ağlarının Özellikleri ve Problemleri	6
2.2. Gezgin Tasarsız Ağlarda Yönlendirme Protokollerinin Sınıflandırması	7
2.2.1. Proaktif Yönlendirme Protokolleri	7
2.2.1.1. DSDV	7
2.2.1.2. OLSR	8
2.2.2. Reaktif Yönlendirme Protokolleri	10
2.2.2.1. DSR	11
2.2.2.2. AODV	11
2.2.3. Hem Proaktif Hemde Reaktif Protokoller	12
2.2.3.1. ZRP	12
3. FANET AĞLARI İÇİN YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ TASARLAMA	14
3.1. Önerilen Protokole Genel Bakış	14
3.1.1. En Geniş Yol Problemi	15
3.1.2. OLSR ve Önerilen Protokolünün Paket Yapıları	17
3.1.3. OLSR ve Önerilen Protokol Yönlendirme Tabloları	19
4. ÖRNEK BİR AĞ BENZETİM VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ	21

4.1. Benzetim Senaryosu	21
4.2. Benzetim Sonuçları	22
5. SONUÇLAR VE YORUMLAR	34
5.1.Tartışma ve Yorumlar	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	37
EKLER	38



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar

Açıklamalar

AODV	: Ad Hoc On-Demand Distance Vector
C-OLSR	: Cross-layer Optimized Link State Routing
DOLSR	: Directional Optimized Link State Routing Protocol
DSDV	: Destination Sequenced Distance Vector Protokol
DSR	: Dynamic Source Routing Protokol
ETX	: Expected Transmission Count
FANET	: Uçan Geçici Ağlar (Flying Ad Hoc Network)
GPS	: Global Konumlandırma Sistemi
IP	: İnternet Protokolü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LEPR	: Link Stability Estimation-based Preemptive Routing
LOAD	: Link Aware on Demand Routing
LTA-OLSR	: Link-Quality and Traffic-Load Aware OLSR
MANET	: Mobil Geçici Ağlar (Mobil Ad Hoc Network)
MID	: Multiple Interface Declaration
ML-OLSR	: Mobility and Load aware OLSR
MPR	: Çoklu-nokta nakilleri (Multi point relay)
NC-OLSR	: Network Coding OLSR
Ns2	: Network Simulator 2
OLSR	: Optimized Link State Routing Protocol
PDR	: Packet Delivery Ratio
P-OLSR	: Position-based OLSR
RSSI	: Received Signal Strength Indicator
SNR	: Signal-to-Noise-Ratio
TC	: Topoloji Control

VANET : Tasarsız Araç Ağları (Vehicular Ad Hoc Network)
ZRP : Zone Routing Protocol



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Vanet Aracılığıyla Manet'ten Fanet'e	1
2.1: Ad Hoc Ağlar için Örnek Bir Senaryo	6
2.2: MPR Seçim Mekanizması için Örnek Senaryo	9
3.1: İletim Yolunun RSSI Değeri nasıl belirlenir?	16
3.2: Örnek Bir Ağ Senaryosu	17
3.3: Tasarlanan Protokolün Hello Mesaj Paket Formatı	18
3.4: OLSR ve Tasarlanan Protokolün Tc Mesaj Paket Formatları	18
3.5: OLSR ve Tasarlanan Protokolün Yönlendirme Tablo Yapıları	20
4.1: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı	23
4.2: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü	23
4.3: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme	24
4.4: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı	25
4.5: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü	25
4.6: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme	26
4.7: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı	27
4.8: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü	27
4.9: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme	28
4.10: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı	29
4.11: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü	29
4.12: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme	30
4.13: 90 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü	31
4.14: 90 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı	31
4.15: Paket Teslim Oranına göre elde edilen sonuçlar	32
4.16: Yönlendirme Yüküne göre elde edilen sonuçlar	33
4.17: Uçtan Uca Gecikme metriğine bağlı olarak elde edilen Sonuçlar	33



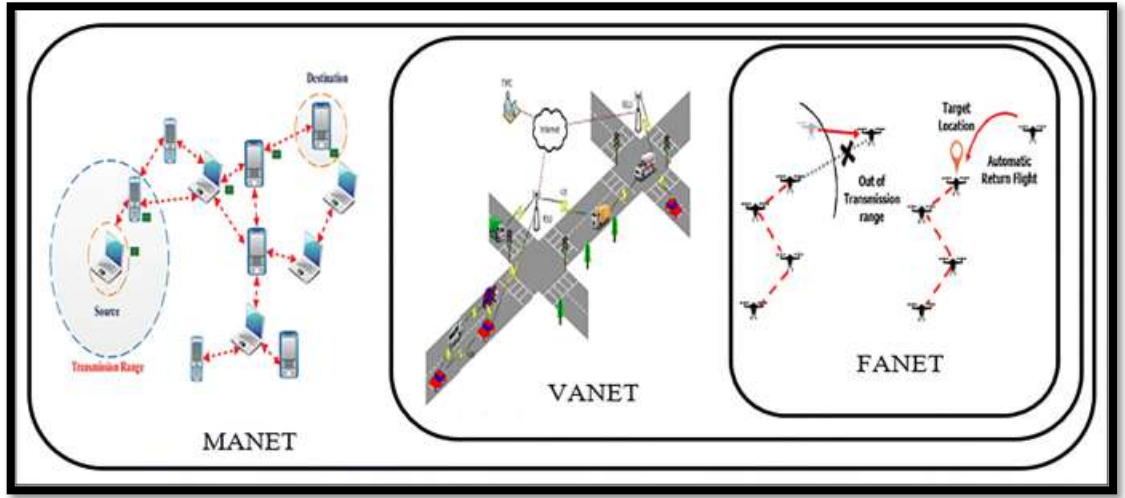
TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Fanet'in Vanet ve Manet ile Karşılaştırılması.	2
4.1: Benzetim Parametreleri.	21



1. GİRİŞ

Uçan Geçici Ağ (FANET), insan etkileşimi olsun veya olmasın bir hedefe ulaşmak için geçici bir ağ oluşturan bir İnsansız Hava Araçları (İHA) grubudur [9]. Vehicular Ad Hoc Network (VANET) ağlara benzeyen FANET ağlar Mobil Ad Hoc Ağın (MANET) bir alt sınıfıdır [5]. Şekil 1.1 [14]'de görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 1.1: VANET aracılığıyla MANET'ten FANET'e.

İHA kullanımı sensör, işlemci ve uygulamaların artmasından dolayı her geçen gün artmaktadır [8]. Bu İHA'ların etkin haberleşebilmesini engelleyen zorlukların çözümü için çalışmalar yapılmasının, özellikle yönlendirme problemi için birçok yeni yönlendirme protokolü geliştirilmesinin ana sebebidir. VANET ve MANET ile birçok benzer özelliğe sahip olan FANET ağlarda İHA'ların hızlı hareket etmelerine ve buna bağlı olarak hızlı topoloji değişim nedeniyle bağlantı ve yönlendirmeyi sürdürmek daha zordur [3][4]. Tablo 1.1 [16], üç farklı Ad-Hoc Ağ kategorisi arasındaki farkları özetlemektedir.

Bu çalışmada tasarlanan yönlendirme protokolüyle FANET ağlarda bağlantının sık kopma sorunundan kaynaklanan yönlendirme problemi çözümü için bağlantı kalitesini sunan RSSI (Received Signal Strength Indicator) değerine bağlı olarak yönlendirme yapılması hedeflenmektedir.

Tablo 1.1: FANET'in VANET ve MANET ile karşılaştırılması.

Ağ Özellikleri	MANET	VANET	FANET
Düğüm hareketliliği	Düşük	Hızlı	Çok Hızlı
Hareketlilik Modeli	Rasgele	Düzenli	Rasgele
Düğüm Yoğunluğu	Küçük	Büyük	Çok Küçük
Topoloji varyasyonu	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
Enerji Tüketimi	Gerekli	Gereksiz	Gerekli

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Günümüzde İnsansız Hava Araçlarının kullanımı oldukça artmıştır. Özellikle Askeri ya da Doğal afet olayları gibi bölgeden ani bilginin alınmasının gerekli olduğu senaryolarda sorunsuz iletişimin sağlanması, İHA'ların haberleşmesinde gelişmeler sağlanabilmesi için bu alanda çalışmalar son zamanlarda artmıştır. İHA'ların oluşturduğu FANET ağda etkin iletişim gerçekleştirebilmek için çözülmesi gereken problemler bulunmaktadır. Bunlardan ilki yönlendirme problemidir. Alt yapıdan bağımsız oluşturulan tasarsız bir ağda gerektiğinde tüm düğümler kapsama alanı içerisinde bulunmayan düğümlere erişimin sağlanabilmesi için yönlendirme görevi üstlenebilmektedir. Kaynak ve hedef arasında doğrudan bir ulaşım söz konusu olmadığında yönlendirme protokolüne bağlı olarak kaynak düğüm kapsama alanı içerisinde bulunan düğümlerden birine hedef düğüme ulaştırılması için paketini gönderir ve paket hedef düğüme ulaşana kadar kaynak ve hedef düğümleri arasındaki yol üzerindeki tüm düğümlerde aynı işlem gerçekleştirilir. Kaynak ve Hedef düğümleri arasında çoğu zaman birden çok yol mevcuttur ve olabilecek yollardan iletim yolu yönlendirme protokolüne bağlı olarak seçilir. Ad Hoc ağlar için geliştirilmiş yönlendirme protokolü FANET ağlarda etkin iletim gerçekleştirebilmek için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle FANET ağlar için yeni yol seçim metriğine bağlı olarak yolu belirleyen yeni yönlendirme protokolleri geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda Ad Hoc ağlar için var olan yönlendirme protokollerinin yol seçim metrikleri değiştirilerek yeni bir yönlendirme protokolü geliştirilmektedir. Bu çalışmada da Ad Hoc ağlar için tasarlanmış OLSR (Optimized Link State Routing

Protocol) yönlendirme protokolüne dayalı yeni bir yönlendirme protokolü geliştirilmiştir.

Çalışma sonucunda FANET ağlar için kurulan senaryolardaki düğümlerin iletişim performansları arttırılmıştır. ns-2 (Network Simulator 2) benzetim ortamında bulunan OLSR kodunda geliştirmeler yapılmış ve yapılan değişiklikler bu çalışmada sunulmuştur.

1.2. Literatür Çalışması Özetleri

Bu bölümde FANET ağlar için tasarlanmış birçok yönlendirme protokolü sunulmaktadır. [6] çalışmasında yazarlar OLSR tabanlı bir yönlendirme protokolü olan C-OLSR (Cross-layer Optimized Link State Routing) protokolü sunmuşlardır. C-OLSR, iletim gerçekleştirmek için OLSR protokolü gibi MPR (Multi-point relay) düğümleri kullanırken, olabilecek yollar arasından en az atlama sayılı yolu seçme yapısı FANET ağlarda yetersiz kaldığı için bu çalışmada düğümler arasındaki bağlantı kalitesini sunan SNR (Signal-to-Noise-Ratio) değerine bağlı olarak iletim yollarını belirlemiştir. [11] çalışmasında ise AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) yönlendirme protokolüne dayalı, düğümlerin GPS (Global Konumlandırma Sistemi) lokasyon bilgi avantajını alarak bağlantı geçerliliğini gösteren yeni bir metrik uyguladıkları LEPR (Link Stability Estimation-based Preemptive Routing) yönlendirme protokolü sunulmaktadır. LEPR yönlendirme protokolünde düğümler arasındaki bağlantı kalitesi ileri ve geri iletim oranlarını kullanırken aynı zamanda düğümler arasındaki uzaklık ve düğümlerin hızları bağlantı kalitesine karar verirken kullanılmış diğer metriklerdir. [19] çalışmasında ise yazarlar iki düğümün konumları, ilerleme yönleri ve hızlarına bağlı olarak hesaplanan bağlantı sona erme süresi ve atlama sayısı değerlerine göre bağlantının kalitesine karar verdikleri LOAD (Link Aware on Demand Routing) yönlendirme protokolünü sunmaktadır. Bağlantının geçerlilik süresinden kaynak düğüm ile hedef düğüm arasındaki atlama sayısı çıkarılarak elde edilen değer bağlantı kalite metriği olarak sunulmakta ve mevcut yolların kararlılık değerlerine bağlı olarak maksimum kararlılık yol iletim yolu olarak belirlenmektedir. Bir diğer çalışma olan NC-OLSR (Network Coding OLSR) yönlendirme protokolü [17]'de sunulmaktadır. Bu çalışmada FANET'lerde iletişim için düğümler arasındaki bağlantı kalitesine bakılmaksızın iletim için seçilebilecek

tüm yollardan gönderilmek istenen veri paketleri kodlama sistemiyle gönderilmiş ve hedef düğüme tüm gönderilen paketlerin iletilememesi durumunda dahi kaynak düğümden gönderilmek istenen tüm veri paketlerinin alınması sağlanmıştır. [15]'de düğümlerin hareketliliğinden dolayı OLSR ve diğer yönlendirme protokollerinin problemleri ve FANET ağlardaki hareketliliğe uyum sağlayabilen P-OLSR (Position-based OLSR) yönlendirme protokolü sunulmaktadır. Bu makalede düğümler Hello paketler aracılığıyla komşularının konumlarından haberdar olur ve sunulan ETX (Expected Transmission Count) metriğine göre iletim yolu seçimini yaparlar. [2]'te sunulan DOLSR (Directional Optimized Link State Routing Protocol) protokolü OLSR tabanlı bir protokol olup MPR sayısını azaltmayı hedeflemektedir. Bu protokolde MPR seçim mekanizması için directional antenna kullanımından yararlanılır ve OLSR'ın tamamen devre dışı bırakıldığı yönlendirme protokolü değildir. İletim yolu, kaynak ve hedef arasındaki uzaklık belirlenen üst uzaklıktan fazla ise OLSR yönlendirme protokolüne aksi takdirde DOLSR yönlendirme protokolüne bağlı olarak belirlenir. [18]'de sunulan yönlendirme protokolünde ana hedef yüksek hızlı düğümlerin MPR düğüm olarak seçilmemesidir. Düğümlerin stabilliğine ve ulaşılabilirliğine bağlı olarak iletim yolu seçimi uygulanır. [20] çalışmasında ise OLSR protokolünün hızlı topoloji değişikliklerine uyum sağlayabilecek ve iletişimin kesintiye uğramasını önleyebilecek yeni bir formu sunulmaktadır. Bu protokol düğüm bağlantısının sona erme süresini hesaplamak ve artık enerjiyi hesaba katmak için GPS bilgilerini tam olarak kullanmayı hedefler. Bu makaledeki yönlendirme protokolü deniz sahnelerinde küçük uçan robotların iletim gerçekleştirebilmeleri için tasarlanmıştır.

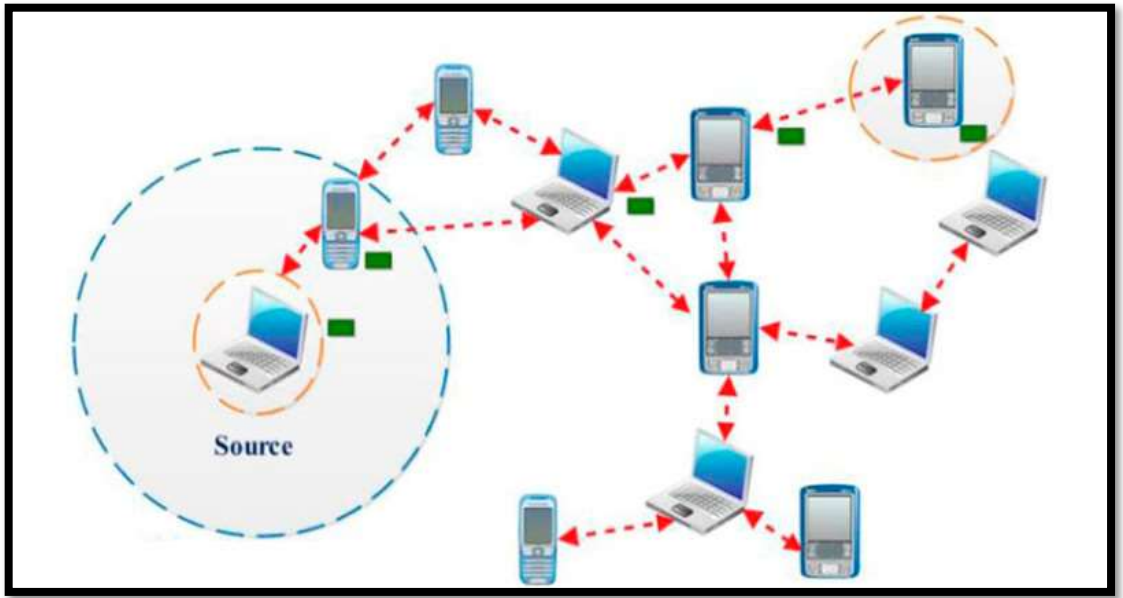
Bir diğer ilişkili çalışma olan LTA-OLSR (Link-Quality and Traffic-Load Aware OLSR) [12]'de sunulmaktadır. Bu protokolde iletim yolu belirlenirken kullanılacak bağlantı kalite metriği fiziksel katman bilgisi olan RSSI değeridir. Tasarlanan protokol ile bağlantı kalite metriği olarak RSSI değeri kullanılmaktadır. Ancak LTA-OLSR protokolünde iki düğüm arasında tek bir RSSI değeri değil alınan birden çok RSSI değerlerine bağlı olarak ortalama RSSI değeri elde edilmesi ve bağlantı kalite metriğinin buna bağlı olarak belirlenmesi iki protokol arasındaki farktır. [10] makalesinde RSSI değerinin bir bağlantının çok iyi kalitede olup olmadığına dair hızlı ve doğru bir tahmin sağlayabileceği, kısa bir zaman aralığında çok kararlı olduğu için bağlantının geçiş bölgesinde olup olmadığını belirlemek için tek bir RSSI okumasının yeterli olacağı bilgisi verilmektedir. Bu nedenle birlikte birden çok RSSI değerinin

ölçülmesinde yaşanacak vakit kaybını ve hafıza gereksinimini engellemek için tasarlanan protokol tek bir RSSI değeri okuması üzerinden bağlantı kalitesine karar verilerek geliştirilmiştir. [13] çalışmada ise LTA-OLSR protokolü için belirlenen bağlantı kalite metriği AODV protokolünde bağlantı kalitesi olarak uygulanmakta ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu iki çalışmada diğer yönlendirme protokollerinden farklı olarak haberleşme için kullanılan kanalların meşguliyet durumları da göz önüne alınarak iletim yolu belirlenmektedir.



2. AD HOC AĞLARDA YÖNLENDİRME

Altyapıdan bağımsız ağlarda iletim gerçekleştirme örnek senaryosu Şekil 2.1’de sunulmaktadır [21]. Şekilde de görüldüğü üzere cihazlar iletişim kurabilmek için herhangi bir aracıya ihtiyaç duymamaktadırlar. İletişim kurmak istedikleri cihaz kapsama alanlarında olmadığı durumda komşu cihazlar üzerinden hedef cihaza paketlerini iletebilirler.



Şekil 2.1: Ad Hoc Ağlar için Örnek Bir Senaryo.

2.1. Uçan Geçici Ağlarının Özellikleri ve Problemleri

Son yirmi yıldır üzerinde oldukça fazla çalışma yapılan hareketli tasarsız ağlar, özellikle son on yılda teknolojinin elvermesiyle yeni uygulama alanları bulan İHA üzerinde uygulanabilir hale gelmeye başlamıştır [1]. Hareketli tasarsız ağların kapsadığı İHA’ların bir arada haberleşebilmesini sağlayan FANET ağlar ağdaki düğümlerin hareket hızlarının çok yüksek olması gibi nedenlerle hareketli tasarsız ağlardan ayrılmaktadır. FANET ağlarda düğümlerin başlangıçtaki konumlarını koruyan bir yol izlemesi halinde ağ iletimi hareketli tasarsız ağlara benzer sonuçlar verebilecektir. Ancak gerçekleştirilen senaryolarda bu durum gözlenememektedir. FANET ağda iletim gerçekleştirirken düğümler kısa süre içerisinde bulundukları

konumu terk ederek topolojinin sık değişimine sebep olmaktadırlar. Bu sebepten dolayı hareketli tasarsız ağların bir parçası olmasına rağmen FANET ağlarda iletim gerçekleştirmek için hareketli tasarsız ağlar için tasarlanmış yönlendirme protokolleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle FANET ağlar için yeni yönlendirme protokolleri geliştirilmesi gerekmektedir.

2.2. Gezgin Tasarsız Ağlarda Yönlendirme Protokollerinin Sınıflandırması

Kablosuz tasarsız ağlarda kullanılan yönlendirme reaktif ve proaktif olmak üzere 2 ana kategoriye ayrılmaktadır.

2.2.1. Proaktif Yönlendirme Protokolleri

Proaktif yönlendirme protokolleri, her düğümün ağdaki diğer tüm düğümlere bir yol bilgisi tutma prensibine dayanır. Ağdaki tüm düğümler belirli periyotlarla birbirlerine gönderdikleri kontrol mesajlarına bağlı olarak mevcut diğer tüm düğümler hakkında bilgi sahibi olur ve bu bilgiyle tek atlamalı, iki atlamalı ve kendilerine iki atlamadan daha uzak olan tüm komşuları için yönlendirme tablolarında yönlendirme protokolünün kriterine bağlı olarak güncel bir yol bilgisi taşırlar. Böylelikle kaynak düğüm ağdaki herhangi bir hedef düğümle iletişim kurmak istediğinde kaynak hedef arası yol bilgisini belirlemek zorunda kalmaksızın iletişimini gerçekleştirebilir. Bu durumda paket göndermeden önce oluşan gecikmelerin önüne geçilebilmektedir. Bu çalışmada sunulacak olan Proaktif yönlendirme protokolleri:

- DSDV (Destination Sequenced Distance Vector Protokol)
- OLSR

2.2.1.1. DSDV

DSDV, Ad Hoc ağlar için tasarlanan Proaktif bir yönlendirme protokolüdür. Diğer Proaktif yönlendirme protokolleri gibi her düğüm yönlendirme tablosunda ağdaki tüm düğümler için hedef düğüm adresi, tek atlamalı komşu düğüm adresi, hedef düğüme

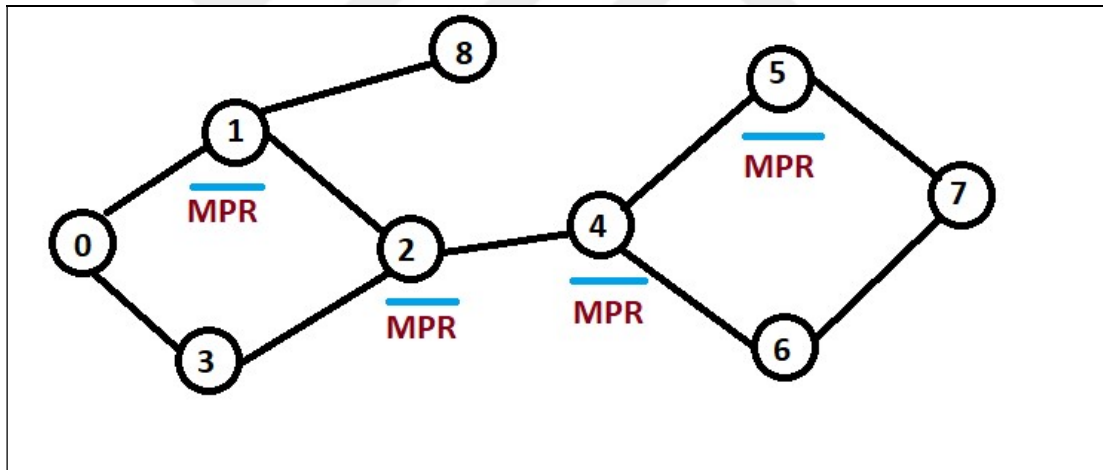
ulaşmak için gereken atlama sayısı ve sıra numarası bilgilerini içeren güncel bir yol bilgisi tutar. Sıra numarası o yolun güncelliğini gösterir [0]. Tablo bilgisi oluşturulduktan sonra gelen yeni yol bilgisine bağlı olarak tablo bilgileri güncellenir. Bir hedef için tutulan yol için sıra numarası daha yüksek yeni bir yol bilgisi geldiğinde kaynak düğüm tablosunu günceller ve güncel tablo bilgisini tek atlamalı komşularına gönderir. Komşu düğümlerde aynı işlemi gerçekleştirerek gelen yol bilgisine bağlı olarak tablolarını güncelleyebilirler.

2.2.1.2. OLSR

OLSR mobil Ad-Hoc ağlar için bir proaktif yönlendirme protokolüdür [7]. Yönlendirme protokollerinin görevi birbirlerinin kapsama alanı içerisinde olmayan iki düğüm arasında iletim gerçekleştirilebilmesi için iletim yolunun belirlenmesini sağlamaktır. Proaktif yönlendirme protokolü olan OLSR da her düğüm ağdaki tüm düğümler için aktif bir yolu tablosunda saklar. OLSR protokolünün temelde 3 paket yapısı ve kontrol paket sayısını azaltan bir mekanizması vardır. Bunlar HELLO mesaj paketi, TC (Topoloji Control) mesaj paketi ve MID (Multiple Interface Declaration) mesaj paketi ve MPR mekanizmasıdır [5]. OLSR yönlendirme protokolü yol belirleme işlemini Hello, TC ve Mid mesaj bilgisine bağlı olarak gerçekleştirmektedir.

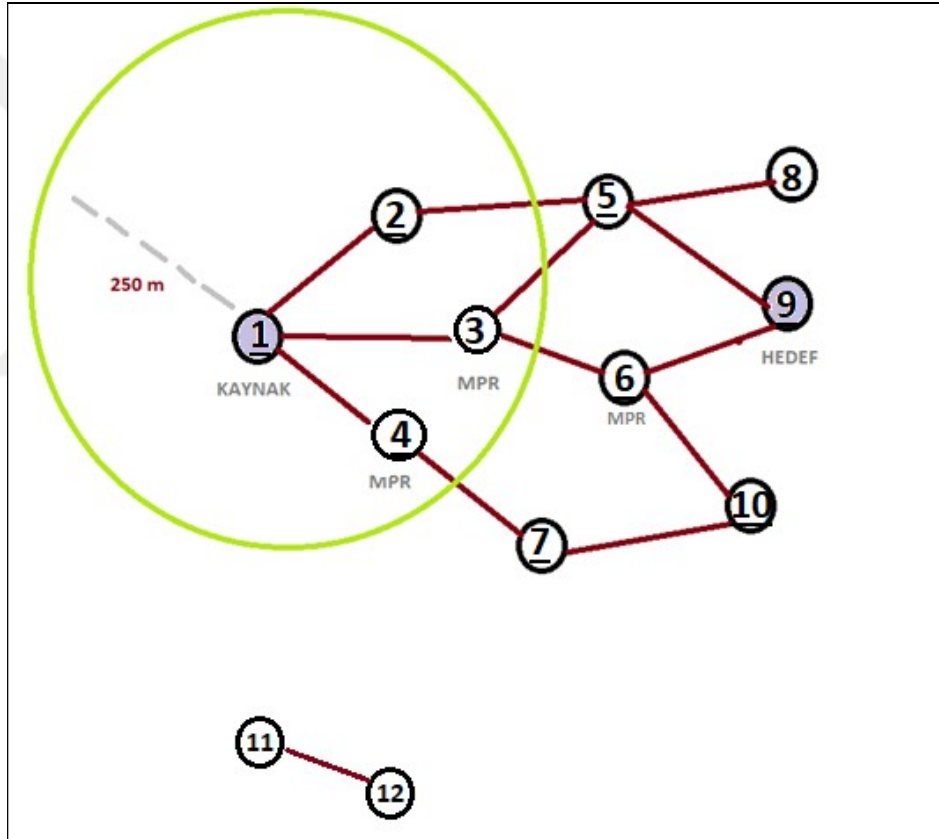
- Hello Mesaj Paketi: Hello mesaj paket içeriği düğümün tek atlamalı komşularını ve bağlantı durum bilgisini içerir. Hello mesajı çoklu yayımla kapsama alanı içerisinde bulunan tüm düğümlere gönderilerek ağdaki her düğümün tek atlamalı ve iki atlamalı komşular bilgisini tablosuna kaydetmesi sağlanır.
- TC Mesaj Paketi: Periyodik olarak MPR düğümler tarafından gönderilen, MPR düğümlerinin hangi düğümler tarafından MPR seçildiği bilgisini veren pakettir. İçeriğinde MPR selector ve sıra numarası bulunur ve her düğüm bu mesaja dayalı olarak topoloji tablosunu korur. Yönlendirme tabloları topoloji bilgisine bağlı olarak hesaplanır.
- Mid Mesaj Paketi: Birden fazla arabirimde OLSR çalıştıran düğümler tarafından iletilir [5].
- MPR Mekanizması: OLSR yönlendirme protokolünün en önemli yapısı olan MPR ağdaki paket yükünü azaltmak için geliştirilmiştir. MPR, iki atlamalı komşuların

Birinci adımda düğüm tek atlamalı düğümler listesini ve iki atlamalı düğümler listesini Hello paket içeriğine göre belirler. İkinci adımda ise iki atlamalı düğümlerin tamamını örtecek şekilde minimum tek atlamalı düğüm seçimi yaparak MPR listesini oluşturur. Şekil 2.2’de 8 düğümlü bir ağda düğümlerin konumlarına bağlı olarak MPR seçim mekanizmasının bir örneği sunulmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere 1, 3 numaralı tek atlamalı ve 2, 8 numaralı iki atlamalı düğümlere sahip 0 numaralı düğüm MPR seçimi için 1 numaralı komşusu üzerinden 8 ve 2 numaralı düğümlere, 3 numaralı komşusu üzerinden sadece 2 numaralı düğüme erişebildiği bilgisine dayanarak 1 numaralı düğümü MPR düğüm olarak seçer. MPR seçimi tamamlandıktan sonra 0 numaralı düğüm bilgisi ağa sadece 1 düğümü üzerinden iletilir. Böylelikle topolojinin sunulacağı kontrol paketlerinin tüm düğümler tarafından gönderilme durumu ortadan kaldırılarak ağdaki paket trafiği azaltılmıştır.



Şekil 2.3'te 250 metre kapsama alanına sahip 10 düğümün oluşturduğu bir ağ senaryosu üzerinden OLSR çalışma mantığı sunulmaktadır. Bu ağda iletimin başlayabilmesi için OLSR protokolünün çalışma mantığına göre öncelikle ağdaki her düğümün Hello paketlerini çoklu yayınlaması, paketin ulaştığı her düğümün mesaj içeriğinde bulunan kaynak düğüm için tek atlamalı ve iki atlamalı komşular listesini oluşturması gerekmektedir. Şekildeki 1 numaralı düğüm için tek atlamalı komşu düğümler 2, 3 ve 4 iken iki atlamalı komşular listesini 5, 6 ve 7 numaralı düğümler oluşturmaktadır. Alınan her Hello paketinden sonra MPR düğümlerin seçimi

gerçekleşir ve MPR düğümler tarafından gönderilen TC mesajları aracılığıyla ağ topolojisi tüm düğümlere sunulur. Ağ topoloji bilgisine bağlı olarak her düğüm kendinden ağdaki diğer tüm düğümlere en az atlama sayılı iletim yolunu tablosuna kaydeder. İletim yollarının belirlendiğinde ağdaki her düğüm diğer tüm düğümlere paket gönderme işlemine başlayabilmektedir. Ancak herhangi bir düğüm üzerinden ulaşılamayan düğümlere iletim gerçekleştirilemez. Şekilde ki 11, 12 numaralı düğümlerin diğer düğümlerle komşuluğu olmadığı için onlar sadece kendileri arasında iletim gerçekleştirebilirler. Hareketliliğe ya da düğümün aktiflik durumlarından yol geçerliliğini yitirdiğinde periyodik iletilen paketlerin bilgisi aracılığıyla iletim yolları güncellenir.



Şekil 2.3: OLSR Çalışma Mantığı.

2.2.2. Reaktif Yönlendirme Protokolleri

Bu protokollerde düğümler hedef düğümlere yol bilgisi tutan bir yönlendirme tablosuna sahip değildirler. Bir düğüm bir hedefle iletişime geçmek istediğinde o an kaynak ve hedef arasındaki olabilecek yollardan birini iletim yolu olarak seçer.

Proaktif protokollerin aksine yönlendirme tablosu için gerekli düğüm bilgilerine ihtiyaç duyulmadığı için bu kategorideki protokollerde kontrol mesajları gönderilmez. Bu paket gönderim isteği oluştuğunda yol bulma işlemi için gecikmeye sebep olsa da bant genişliği daha az harcanır ve güç daha tasarruflu kullanılır. Bu çalışmada sunulacak olan reaktif protokoller:

- DSR (Dynamic Source Routing Protocol)
- AODV

2.2.2.1. DSR

Reaktif yönlendirme protokolü olan DSR’da ağdaki düğümler olabilecek tüm hedef düğümlere yol bilgisi için tablo tutmadıkları için ağda iletilen kontrol paket sayısını azaltarak bant genişliği kullanımını azaltmışlardır.

Bu yönlendirme protokolünde iletim gerçekleştirmek isteyen kaynak düğümün ön belleğinde hedef düğüme doğru bir yol bilgisi bulunmadığı durumda yol keşif işlemi başlar. Kaynak düğümden yayınlanan yol istek paketi (route request packet) hedef düğüme ulaşmaya kadar ara düğümler tarafından yayınlanmaya devam eder. İstek paketlerinin yapısında bulunan paket kimlik değeri (id) aynı yol istek paketlerinin ağda ek maliyet oluşturmalarını engeller. Komşu düğümlere aynı kimlik bilgisiyle gelen yol istek paketleri dikkate alınmaz. İstek paketinin hedef düğüme ulaşmasıyla iletim yolu belirlenmiş olur ve istek paketinin geldiği yoldan yol cevap (route reply) paketi gönderir. Kaynak düğüme cevap paketinin ulaşmasıyla kaynak düğüm hedef düğümlerle veri iletimine başlayabilir.

2.2.2.2. AODV

AODV reaktif bir yönlendirme protokolüdür. Diğer reaktif yönlendirme protokolleri gibi kaynak düğümler paket göndermek istediklerinde iletim yoluna karar verilmesi gerekmektedir. AODV yönlendirme paket bilgisi genel olarak hedef ip adresi, hedef sıra numarası, kaynak ip adresi ve kaynak sıra numarası bilgilerini içerir.

Bu protokolde bir düğüm bir hedefe paket göndermek istediğinde hedef için güncel bir yol olup olmadığına bakar yol bulunması halinde o yol üzerinden iletimini

gerçekleştirir. Eğer mevcut bir yol yoksa o takdirde RREQ (Route Request) paketini komşularına gönderir. Komşu düğümlerde hedef adresi için kendilerinde güncel bir yol olup olmadığını kontrol ederek yol olması halinde paketin geldiği yoldan paket isteğine RREP (Route Reply) paketi aracılığıyla dönüş yapar. Aksi takdirde komşu düğümler aracılığıyla yol istek paketi hedef ip adresine göre yol bulunmak istenilen hedefe iletilir. Hedef düğüme istek paketleri tüm komşular aracılığıyla ayrı ayrı iletildiği için birçok yoldan hedef düğüme RREQ paketi ulaşır. Hedef düğüme ulaşan istek paketlerine hedef düğüm RREP (Route Reply) paketi ile cevap verir. Hedef düğüme ilk ulaşan RREQ paketinin izlediği yol istekte bulunan kaynak ve hedef arasındaki iletim yolu olur. RREP paketi kaynak düğüme ulaştığında yol bulma işlemi tamamlanmış olur ve kaynak düğüm verilerini göndermeye başlayabilir.

2.2.3. Hem Proaktif Hemde Reaktif Protokoller

Bu kategorideki protokollerde proaktif ve reaktif protokollerin iyi noktaları bir arada mevcuttur. Çalışmada bu kategoride sunulacak protokoller:

- ZRP (Zone Routing Protocol)

2.2.3.1. ZRP

ZRP, ağ yapısında birçok düğümün bulunduğu ağlar için tasarlanmıştır. Reaktif ve proaktif yönlendirme protokollerinin özelliklerini bir arada kullanmayı hedeflemektedir. Kaynak ve hedef düğümün haberleşmesi birbirleriyle olan yakınlıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İletişim kurmak isteyen kaynak düğüm kendisiyle yakın olan hedef düğümlerle proaktif bir yaklaşımla iletişime geçerken uzak olan bir düğümlerle reaktif bir yaklaşım sergileyerek iletişime geçmektedir.

Bu protokolde ağ bölgelere ayrılmaktadır. Kaynak düğümler için kendi bölgeleri kendine max k atlamalı aralıktaki düğümlerden oluşur. Bir kaynak için bölgesindeki sınır düğümü tam olarak k atlamalı düğümdür. İletim yolunun belirlenmesi hedef ve kaynak düğümün aynı bölgede olması durumunda proaktif yönlendirme gerçekleştirilir. Ancak kaynak ve hedef düğüm farklı bölgelerde bulunması durumunda reaktif

yönlendirme gerçekleştirilir. Aynı bölgede bulunan düğümlerin haberleşmesi için iletim yolu kaynağın proaktif olarak önbellege alınmış yönlendirme tablosundan hızla bulunabilir. Kaynak ve hedefin aynı bölgede bulunması halinde iletim yolunun belirlenmesi için vakit kaybı yaşanmayacağından paket hemen teslim edilebilir.

Kaynak ve hedef düğümün aynı bölgede olmama durumunda bölgenin ötesindeki rotalar için yol keşfi reaktif olarak gerçekleşir. Kaynak düğümün sınır düğümlerine gönderdiği yol isteği, kendi adresini, hedef adresini ve benzersiz bir sıra numarasını içerir. İletim yolunun belirlenmesi için sınır düğümleri hedef için kendi bölgelerini kontrol eder. Hedefin kendi bölgesinde olmaması durumunda sınır düğümleri istek paketine kendi adresini ekleyerek bölgesindeki düğümlere gönderir. Hedefin kendi bölgesinde olduğu bilgisine ulaşan düğüm istek paketinin geldiği yoldan tersine yol yanıtı gönderir. Yol istek paketine verilen cevabın kaynak düğüme ulaşmasıyla kaynak düğüm veri paketlerini iletilen yol bilgisine göre hedef düğüme gönderir.

3. FANET AĞLARI İÇİN YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ TASARLAMA

FANET ağlarda düğümlerin hızlı hareket etmelerine bağlı olarak topolojinin sık sık değişimi nedeniyle Ad-Hoc ağlar için tasarlanmış mevcut yönlendirme protokolleriyle verimli iletim gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle FANET ağlarda iletimi geliştirmek için düğümler arasındaki bağlantı kalitesinin ölçülebilmesi ve iletim yolunun ölçülen değere bağlı olarak belirlenmesi daha iyi sonuçlar elde etmeyi sağlar.

Bu çalışmada bu bilgiler ışığında OLSR tabanlı yeni bir yönlendirme protokolü geliştirilmiş ve çalışmanın bu bölümünde tasarlanan protokolde yapılan geliştirmeler ve protokolün özellikleri sunulmaktadır. Ayrıca OLSR yönlendirme protokolünün detaylarından bahsedilerek paket yapılarında, tablo yapısında ve temel çalışma prensiplerinde yapılan değişikliklerden bahsedilmektedir.

3.2. Önerilen Protokole Genel Bakış

OLSR yönlendirme protokolünün temel yapısında ağdaki düğümlerin birbirleriyle etkin bir şekilde iletişim kurabileceği yolu belirlemek için her düğümün ağdaki tüm hedef düğümlere tablosunda bir yol tutması bulunmaktadır. Bu protokolde Hello ve TC mesaj paketleri aracılığıyla her düğümün ağ topolojisinden haberdar olarak tablolarını oluşturması sağlanmaktadır. OLSR hedef tablo bilgisini oluştururken ağdaki tüm düğümler için olabilecek en az atlama kriterine bağlı olarak seçimler yapar. Ancak diğer bölümlerde açıklandığı üzere FANET ağlarda bu kriter yetersiz kalmakta ve bu nedenle geliştirilen yönlendirme protokolünde bağlantı kalitesini sunan farklı bir kriter uygulanmaktadır.

Düğümmler arasındaki bağlantı kalitesini sunan birçok değer mevcuttur. Bu makalede fiziksel katman değeri olan RSSI değerine bağlı olarak düğümler arası bağlantı kalitesi belirlenmiş ve iletim yolu seçiminde kaynak-hedef arasında bulunan yollar arasından iletim yolu bu değere bağlı olarak seçilmiştir. Her düğümün kendi ile komşusu arasındaki RSSI bilgisini bağlantı kalite metriği olarak Hello ve TC mesaj paketleriyle ağda iletilmesi sağlanmıştır. Her düğüm kontrol paketleri aracılığıyla ağdaki tüm düğümlerin ulaşılabilirliğini ve arasındaki bağlantı kalite bilgilerini

öğrendikten sonra tablosunda tutacağı her düğüm bilgisi için bağlantı kalitesine bağlı olarak olabilecek yollar arasından iletim yolunu belirler.

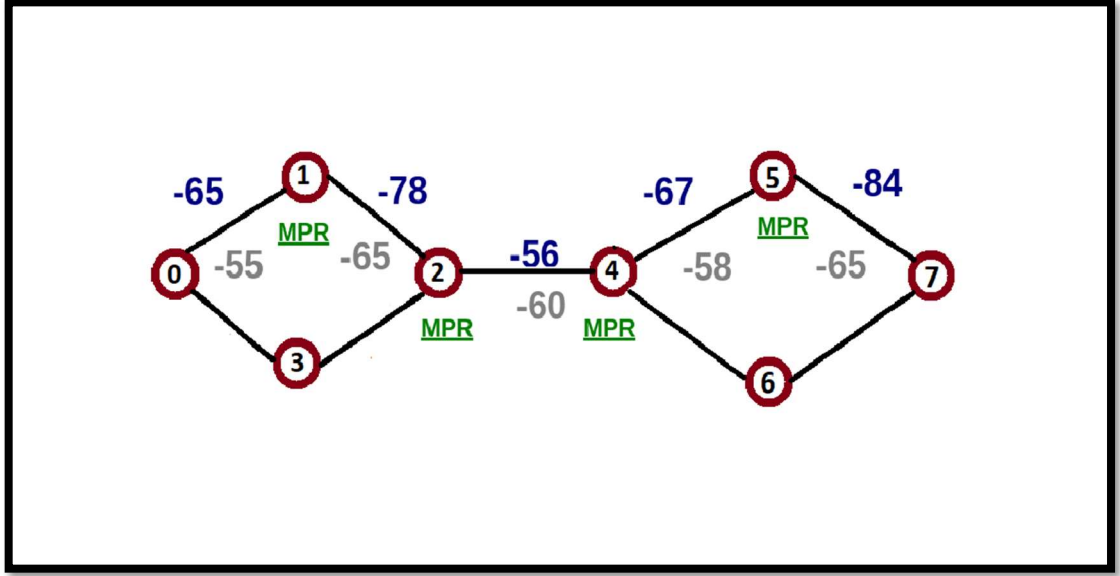
İletim yolu birden çok ara düğümden oluşabilir. Ara düğümlerden oluşan olabilecek iletim yolunun bağlantı kalitesi yol üzerinde bulunan tüm ikili düğümler arasındaki RSSI değerlerinden en küçük RSSI değeri o yol için RSSI değeri olarak kabul edilirken kaynak ve hedef arasında bulunan iletim yollarından seçilen iletim yolu en yüksek RSSI değerlikli yoldur.

Kurulan tasarsız geçici ağda her düğüm olabilecek tüm komşu düğümleriyle bir çizge yapısı sunar. Ağdaki düğümlerin sunduğu yapı yönlü ve RSSI değerlikleriyle ağırlıklı bir çizgeyi temsil etmektedir. Ağın oluşturduğu çizgede iletim yolunun belirlenmesi için çizge algoritmalarından olan geniş yol problemi kaynak ve hedef arasındaki iletim yolunu belirlemek için kullanılmıştır.

3.2.1. En Geniş Yol Problemi

En geniş yol problemi (widest path problem), kaynak ve hedef arasında yol bulma, yoldaki en düşük ağırlıklı kenarın ağırlığını maksimize etme problemidir [21]. Bu problemde maksimize edilmesi gereken değer RSSI değeridir.

Şekil 3.1.'de bir iletim yolunun RSSI değerinin nasıl belirlendiği gösterilmektedir. RSSI değerleri senaryodaki gerçek değerler değildir. Maksimum RSSI değeri -55 olabilmektedir. Görüldüğü üzere 0-7 arasında 0-1-2-4-5-7 yolu için 0 düğümünün RSSI değeri yol üzerindeki tüm ikili düğümler arasındaki RSSI değerlerinden en küçüğü olan -84 değeri, 7 düğümünün RSSI değeri ise -65 değeridir. 0-1-2-4-5-7 yolu için RSSI değerleri görselde mavi renkte sunulurken, 7-5-4-2-1-0 yolu için RSSI değerleri gri renkte sunulmaktadır. Geliştirilen protokolde her ikili düğüm arasından tek bir RSSI okuması yapılmıştır.

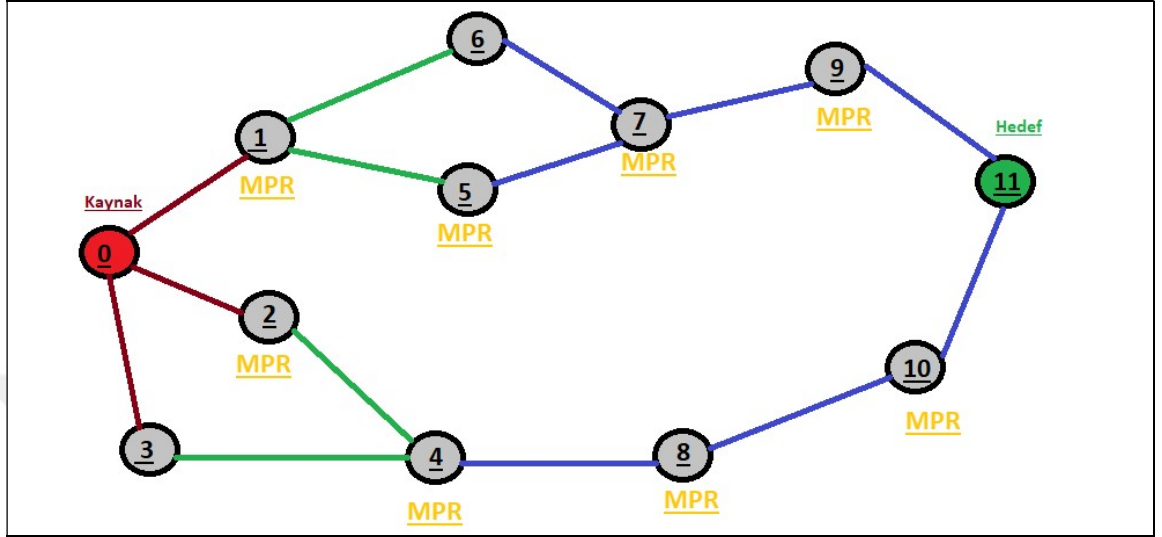


Şekil 3.1: İletim Yolunun RSSI Değeri Nasıl Belirlenir?

Şekil 3.2.'de bir ağ senaryosu sunulmaktadır. Sunulan senaryoda kaynak düğüm kırmızı, hedef düğüm yeşil ve ara düğümler gri renkli ayarlanmıştır. Kaynak düğümün tek atlamalı komşuları bordo, 2 atlamalı komşuları yeşil ve diğer atlamalı komşuları mavi çizgilerle gösterilmiştir. Senaryo gereği 0 numaralı kaynak düğüm 11 numaralı hedef düğüm için veri paketi göndermek istemektedir. Geliştirilen protokol proaktif bir protokol olduğu için 0 düğümünün herhangi bir hedef için veri paketi bulundurmada önce ağdaki tüm düğümler için aktif bir iletim yolu belirlemesi gerekmektedir. Bu senaryo için Hello paketleri aracılığıyla 0 düğümü tek atlamalı komşularının 1, 2 ve 3 numaralı düğümlerin, 4, 5, 6 numaralı düğümlerin ise iki atlamalı komşuları olduğunu öğrenerek tablosuna 1, 2 ve 3 numaralı düğümler için iletim yolu bilgilerini ekler. İki atlamalı komşuları için olabilecek yollar arasında RSSI değeri en yüksek olan yol iletim yolu olarak seçilir. Ağdaki tüm ikili düğümler arasındaki RSSI değerleri bilinmektedir. 3 ve daha fazla atlamalı düğümler içinde RSSI değerine bağlı olarak iletim yolları belirlenmektedir. Ağdaki bu senaryo için ara düğüm olan düğümler ve hedef düğümde kendi tablolarını bu adımlarla oluşturulur.

Senaryoda iki atlamalı komşular örneği için 0 numaralı düğümden 4 numaralı düğüme 2 ve 3 numaralı tek atlamalı düğümlerden ulaşılabilir. 0-2-4 ve 0-3-4 yollarından RSSI değerine göre bir yol belirlenir. Kaynak ve hedef arasında Şekilden anlaşılacağı üzere 2 tane iletim yolu olabilecek yol mevcuttur. 7 numaralı düğüm için 0-1-5-7 ve 8 numaralı düğüm için 0-2-4-8 yolları iletim yolları olduğu kabul

edilirse, kaynak ve hedef arasında olabilecek yollar 0-1-5-7-9-11 ve 0-2-4-8-10-11 rotalı yollardır. Bu olabilecek yollar arasından iletim yolu yolların RSSI değerlerine bağlı olarak belirlenir ve kaynak hedef için tuttuğu veri paketlerini yol güncelliğini yitirene kadar bu yol üzerinden iletir.



Şekil 3.2: Örnek Bir Ağ Senaryosu.

3.2.2. OLSR ve Önerilen Protokolünün Paket Yapıları

Bu bölümde OLSR ve tasarlanan protokol arasındaki farklar sunulmaktadır. Tasarlanan protokolde RSSI değerine göre iletim yolu belirleneceği için fiziksel katmandan RSSI bilgisi alınmakta ve iletim yolu RSSI değerine bağlı olarak belirlenmektedir. Her düğümün kendi ve tek atlamalı komşu düğümleri arasındaki RSSI değerlerini elde etmesi ve bu bilgiyi topolojide yayınlaması gerekmektedir. OLSR protokolünde bu bilginin yayınlanabileceği bir yapı olmadığı için tek atlamalı komşular için bu yapı, komşularıyla olan bağlantının kalite bilgisini alan her düğümün tek atlamalı komşular bilgisini sunduğu Hello mesaj paketi ile bu bilgiyi sunması sağlanmaktadır.

0															1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1					
Reserved															Htime										Willingness											
Link Code					Reserved										Link Message Size																					
RSSI of Neighbor Interface Address 1																																				
Neighbor Interface Address 1																																				
RSSI of Neighbor Interface Address 2																																				
Neighbor Interface Address 2																																				

Şekil 3.3: Tasarlanan Protokolün Hello Mesaj Paket Formatı.

Hello mesaj paketi yapısında yapılan değişiklikler Şekil 3.3.'de sunulmaktadır. Görüldüğü üzere mesaj paketi yapısında komşu bilgilerinin sunulduğu alanlardan önce her komşu için ayrı ayrı mesaj paketini gönderen düğümle arasındaki RSSI değeri taşınmaktadır.

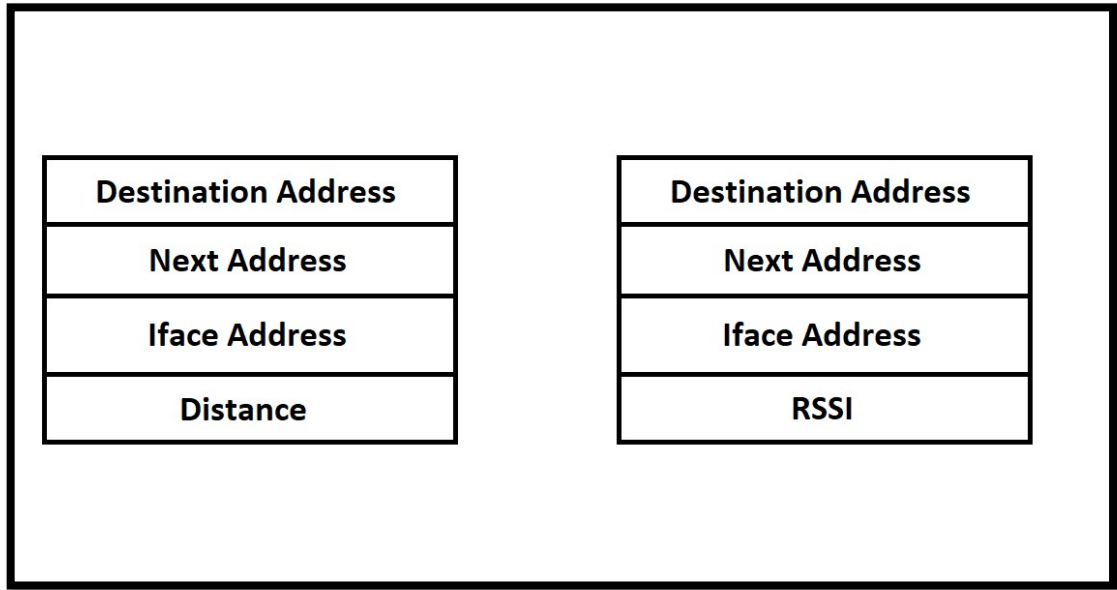
<table> <tr> <th>ANSN</th><th>Reserved</th></tr> <tr> <td colspan="2">Advertised Neighbor Main Address</td></tr> <tr> <td colspan="2">Advertised Neighbor Main Address</td></tr> <tr> <td colspan="2">.....</td></tr> </table>	ANSN	Reserved	Advertised Neighbor Main Address		Advertised Neighbor Main Address				<table> <tr> <th>ANSN</th><th>Reserved</th></tr> <tr> <td colspan="2">RSSI 1</td></tr> <tr> <td colspan="2">Advertised Neighbor Main Address</td></tr> <tr> <td colspan="2">RSSI 2</td></tr> <tr> <td colspan="2">Advertised Neighbor Main Address</td></tr> <tr> <td colspan="2">.....</td></tr> </table>	ANSN	Reserved	RSSI 1		Advertised Neighbor Main Address		RSSI 2		Advertised Neighbor Main Address			
ANSN	Reserved																				
Advertised Neighbor Main Address																					
Advertised Neighbor Main Address																					
.....																					
ANSN	Reserved																				
RSSI 1																					
Advertised Neighbor Main Address																					
RSSI 2																					
Advertised Neighbor Main Address																					
.....																					

Şekil 3.4: OLSR ve Tasarlanan Protokolün TC Mesaj Paket Formatları.

Şekil 3.4.'te ise topolojide RSSI değerinin taşınabilmesi için TC mesaj paketi yapısında yapılan değişiklikler sunulmaktadır. 3 ve daha fazla atlamalı komşuların kendi komşularıyla aralarındaki bağlantı kalite bilgisine ulaşılabilirliği sağlamak için TC mesaj paketleri içerisine RSSI değerleri eklenerek yeni bir paket yapısı oluşturmadan var olan OLSR paketlerini güncelleyerek gerekli bilgilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

3.2.3. OLSR ve Önerilen Protokol Yönlendirme Tabloları

RSSI değerlerinin tüm düğümler tarafından öğrenilmesini sağlamak kaynak-hedef düğüm arasında bulunan yollar arasında seçilmesi gereken yolun belirlenebilmesi için yeterli değildir. Çünkü kaynak-hedef arasında birden fazla yol olabilir ve yönlendirme tablosunda RSSI değeri tutulmadığı için tabloya kaydolmuş yol ile yeni yolun karşılaştırılabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle yönlendirme tablosuna kaydedilen her yol için RSSI değerinin tutulabileceği bir alan eklenmesi gerekmektedir ve böylelikle olabilecek yolların RSSI değerine bağlı olarak karşılaştırılması sağlanabilmektedir. OLSR'da yönlendirme tablosuna kayıt ekleme işleminde kaynak-hedef arası olabilecek tüm yolların karşılaştırılması atlama sayısı kriterine göre yapılmakta iken tasarlanan protokolde atlama sayısı kriterinin yerini RSSI değeri almaktadır. Şekil 3.5.'te görüldüğü üzere yönlendirme tablosunda bulunan atlama sayısı alanı RSSI değeri olarak değiştirilmiştir. Her düğüm gelen paketler içerisinden RSSI değerine göre ağdaki tüm hedeflere bir iletim yolu belirler. Her alınan paketle ya paket hedef bilgisi için ilk yol kaydı oluşturulur ya da yeni yolun RSSI değeri tabloda mevcut olan yolun RSSI değerinden büyükse kaynak ve hedef arasındaki var olan yolun güncelleme yapılır.



Şekil 3.5: OLSR ve Tasarlanan Protokolün Yönlendirme Tablo Yapıları.

4. ÖRNEK BİR AĞ BENZETİM ve BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde tasarlanan yönlendirme protokolü başarımlı değerlendirilmesi örnek bir uçan tasarsız ağ senaryosunda ele alınmıştır. Sonuçlar OLSR protokolü ile karşılaştırılmıştır. Protokollerin literatürde bulunan çalışmalarda sıklıkla kullandığı Paket Teslim Oranı, Yönlendirme Yüğü ve Uçtan Uca Gecikme metriklerine bağılı olarak değerlendirilmesi sunulmaktadır.

4.1. Benzetim Senaryosu

OLSR ve tasarlanan yönlendirme protokolünün karşılaştırılması için kurulan senaryo ns2 simülatör ortamında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yönlendirme protokolünün karşılaştırılmasında benzetim senaryo parametreleri Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1: Benzetim Parametreleri.

Parametre	Değer
Simülatör	ns2
Ağ Boyutu	1000 X 1000 X 1000
Simülasyon Süresi	100 sn
Düğüm Sayısı	15
Kapsama Alanı	250 m
Trafik Tipi	Constant Bit Rate(Cbr)
Paket Boyutu	512bytes
Mac Protocol	IEEE 802.11
Düğüm Hızı	40-90m/s
Hareketlilik Modeli	Random Way Point
Yönlendirme Protokolleri	OLSR, Tasarlanan Protokol

Senaryo, 100 saniye olup ilk saniyelerden son saniyeye kadar iletim gerçekleştirilmiştir. Benzetim senaryosunda düğümler 40, 50, 70, 80, 90 hızlarıyla hareket etmekte ve hız değişimine bağlı olarak kurulan ağın sonuçları incelenmiştir. Senaryodaki tüm düğümler hareketli olup simülasyon başlangıcında hareket etmeye başlamaktadırlar. Senaryo gereği düğümlerin sabit hızla hareket etmeleri gerektiği için simülasyon boyunca düğümler başlangıç hızlarını korumuşturlar. Kurulan ağ içerisinde 15 düğüm bulunmakta ve her düğüm birbiriyle çift yönlü bağlantıya sahiptir.

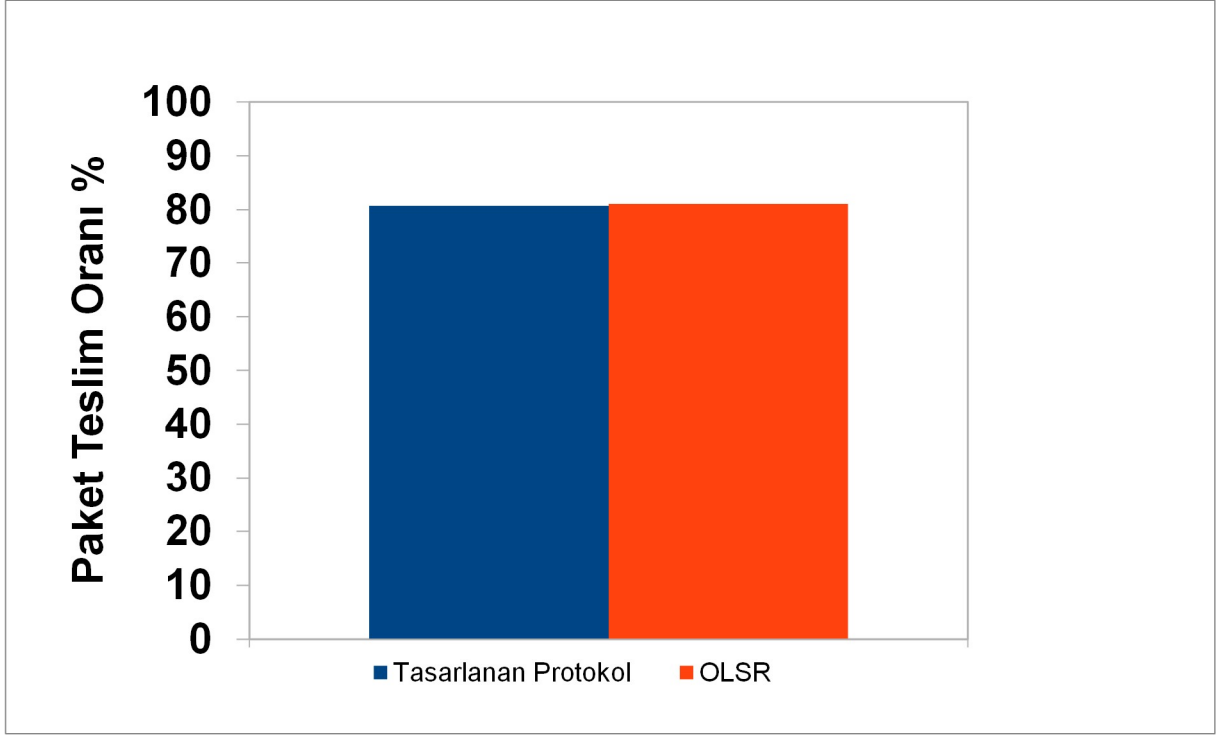
Benzetim, ns-2.35 sürümünün ubuntu 20.04 işletim sistemi üzerinde çalıştırılması ise yapılmıştır. OLSR ve tasarlanan yönlendirme protokolü 3 metrikle karşılaştırılmıştır. Bunlar Paket Teslim Oranı, Yönlendirme Yüğü ve Uçtan Uca Gecikmedir.

4.2. Benzetim Sonuçları

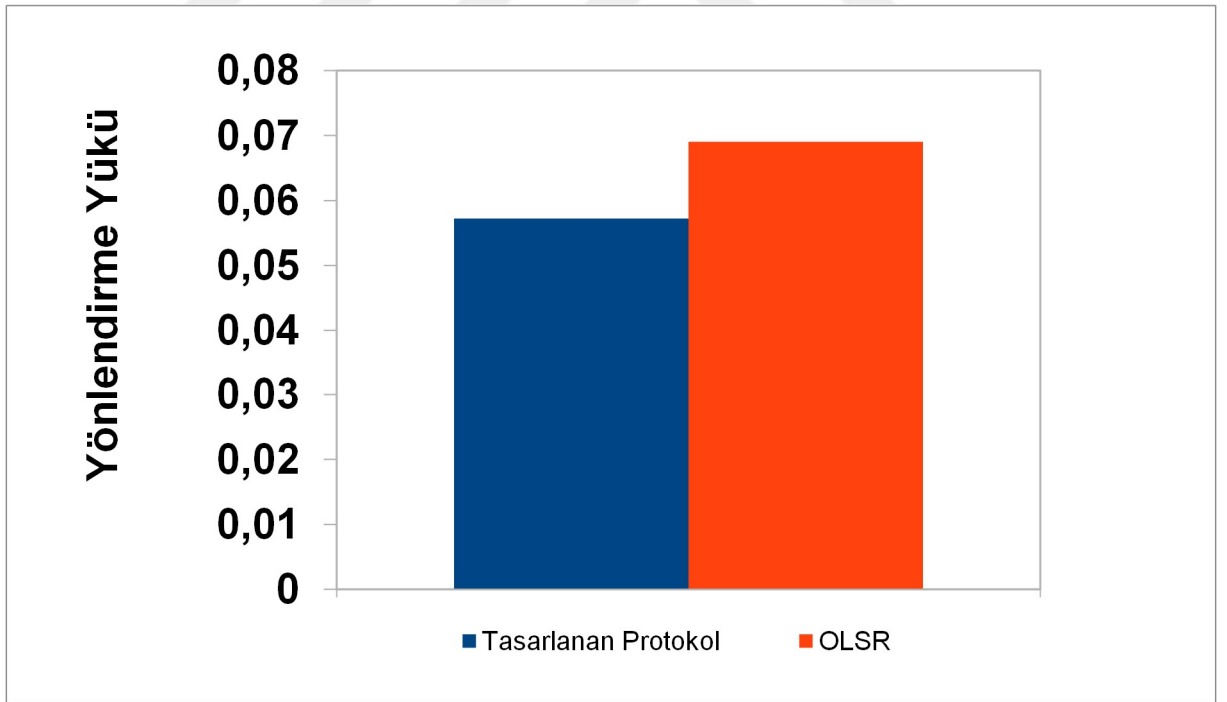
Bu bölümde OLSR ve tasarlanan protokolün ns2 simülatöründe paket teslim oranı, yönlendirme yüğü ve uçtan uca gecikme metriklerine göre karşılaştırılma sonuçları sunulmaktadır.

Düğümlerin hareket hızlarına bağlı olarak farklı senaryolar kurulmakta, her senaryoda rasgele düğümler arasında paket iletimi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen protokolde düğümlerin hızlarındaki artışa bağlı olarak iyileşmeler sunması beklenmektedir. Bu nedenle düğüm hızları minimum 40 olacak şekilde ayarlanmıştır. Senaryo benzetim süresi boyunca rastgele düğümler arasında paket gönderimi gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada geliştirilen protokolün bağlantı kalitesine bağlı olarak yol seçimi yapıldığı için uçtan uca gecikme ve yönlendirme yükünde iyileşmeler sunması hedeflenmektedir.

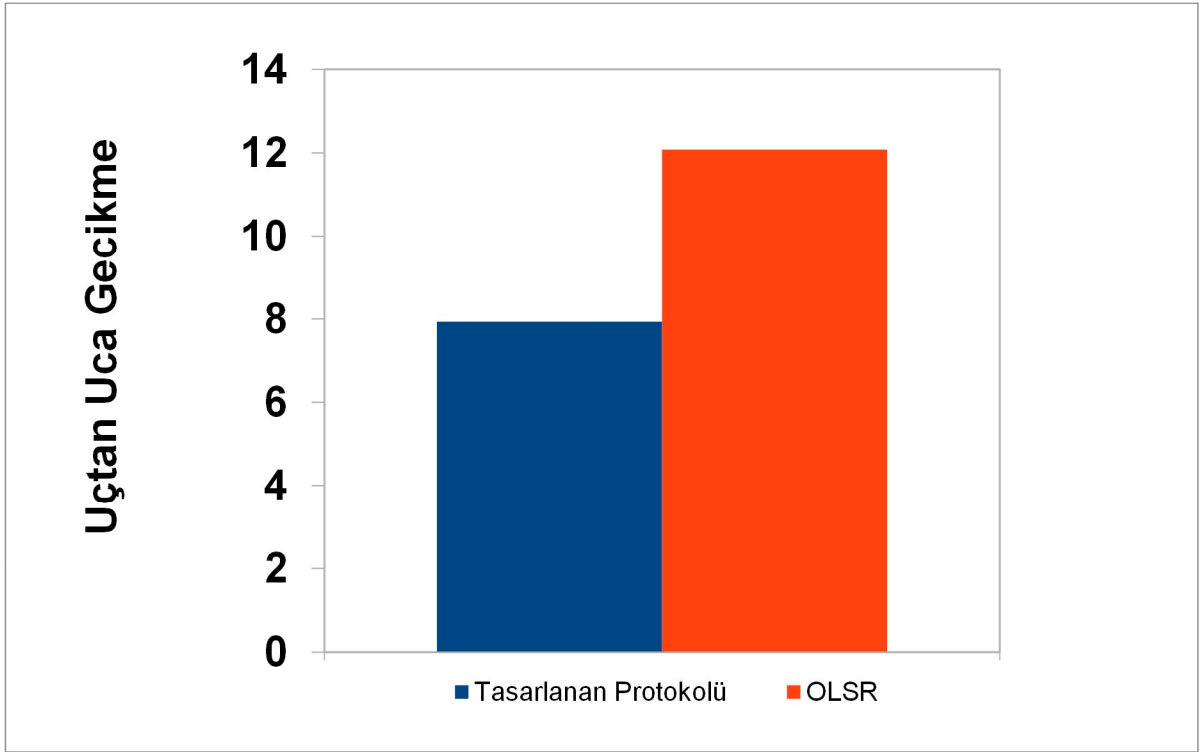
Düğüm hızlarının 40 olduğu test: Bu topolojide ağ parametreleri yukarıda verildiği gibidir. 15 düğüm rastgele konumlandırılmış ve düğüm sayısı kadar rastgele seçilen her ikili düğüm arasında iletim gerçekleştirilmiştir. Bu test için sonuçlar aşağıda sunulduğu gibidir.



Şekil 4.1: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı.



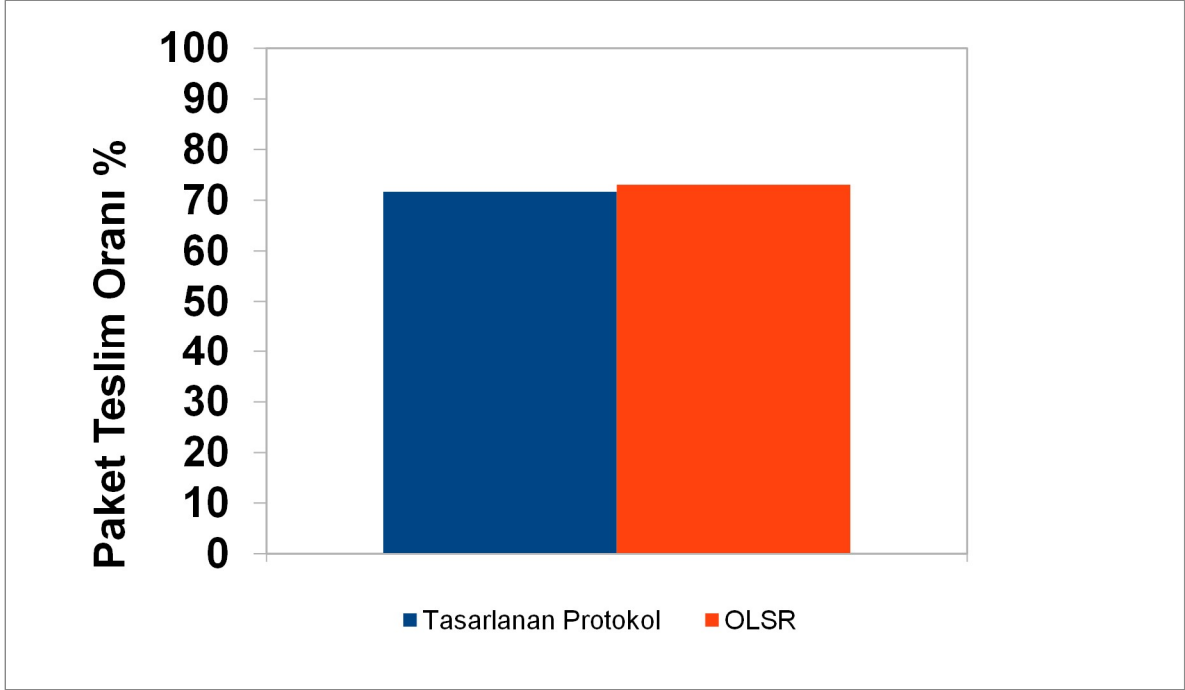
Şekil 4.2: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü.



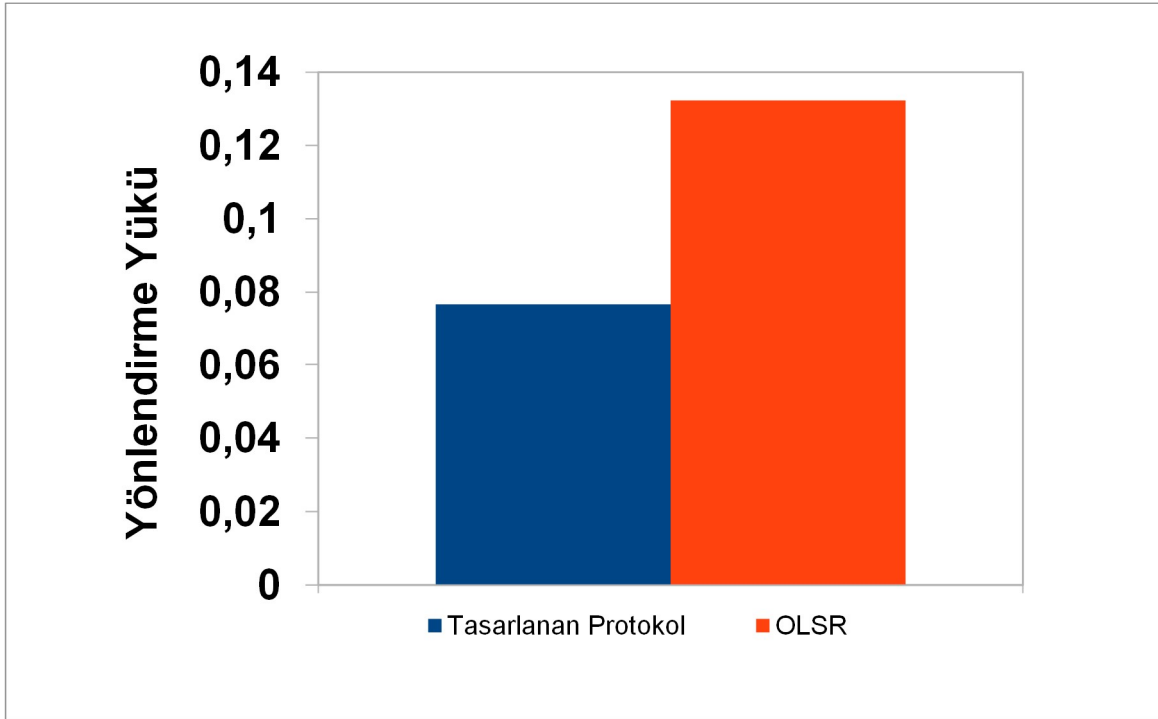
Şekil 4.3: 40 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere düğümlerin 40 hızında hareket ettikleri senaryoda OLSR ve Tasarlanan Protokol paket teslim oranı olarak benzer sonuçlar üretmiştir. Düğümlerin başlangıç konumlarının ve hareket konumlarının rastgele atanmasına bağlı olarak senaryo gereği iletim yapılmak istenen düğüme herhangi bir düğüm üzerinden erişebilirliğin olmaması durumlarında bağlantı kalitesine bağlı olarak yol belirlenmesine rağmen paket teslim oranında iyileşmeler elde edilememiştir. Şekil 4.2’deki Yönlendirme yükü ve Şekil 4.3’deki uçtan uca gecikme yükü metriklerine göre Tasarlanan Protokol OLSR protokolünden daha iyi sonuçlar sunmuştur. OLSR 3 ve daha fazla atlamalı komşularına erişim sağlamak için kaynak düğümün en az atlama sayılı düğümleri üzerinden paket gönderebilmesine imkan sunmaktadır. Bu da o düğümlerin aynı anda birden fazla iletimi gerçekleştirmek için kullanılmasını gerektirmektedir. Kaynak ve hedef arasında iletim yolu kurulabilmesine rağmen düğümlerin yoğunluğuna bağlı olarak paket düşmeleri ya da paket iletilmek üzere bekletilirken iletim yolunun geçerliliğini kaybetmesi durumlarından dolayı paket simülasyon süresi içerisinde teslim edilebilse dahi yönlendirme yükü ve uçtan uca gecikme metriklerine göre kötü sonuçlar sunmuştur.

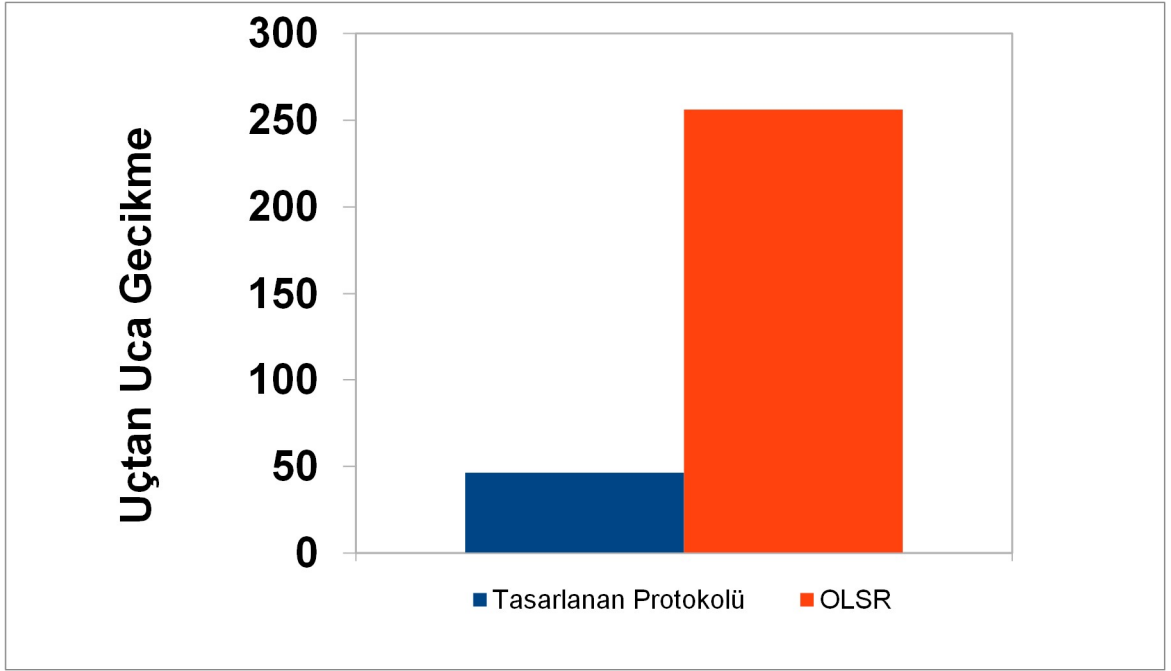
Düğüm hızlarının 50 olduğu test: Düğümler rastgele konumlandırılmış ve rastgele seçilen ikili düğümler arasında iletim gerçekleştirilmiştir. Bu senaryo için düğüm hızları 50 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu test için sonuçlar aşağıda sunulduğu gibidir.



Şekil 4.4: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı.



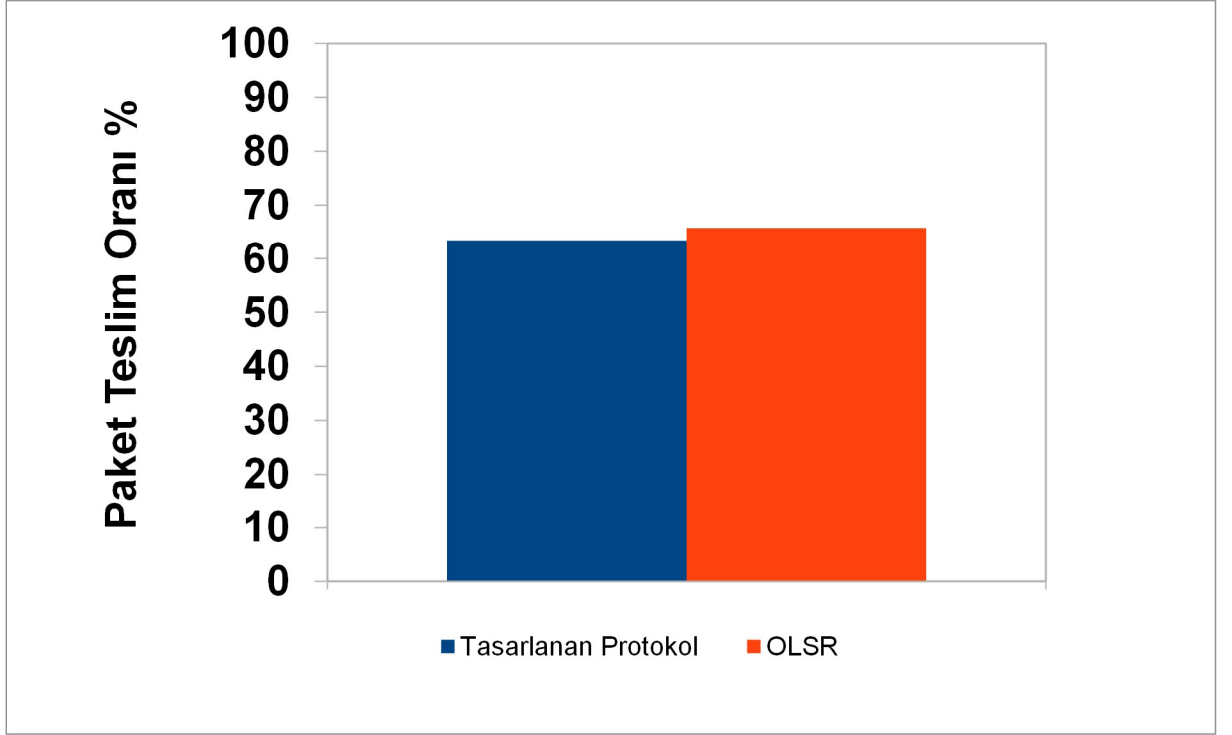
Şekil 4.5: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü.



Şekil 4.6: 50 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme.

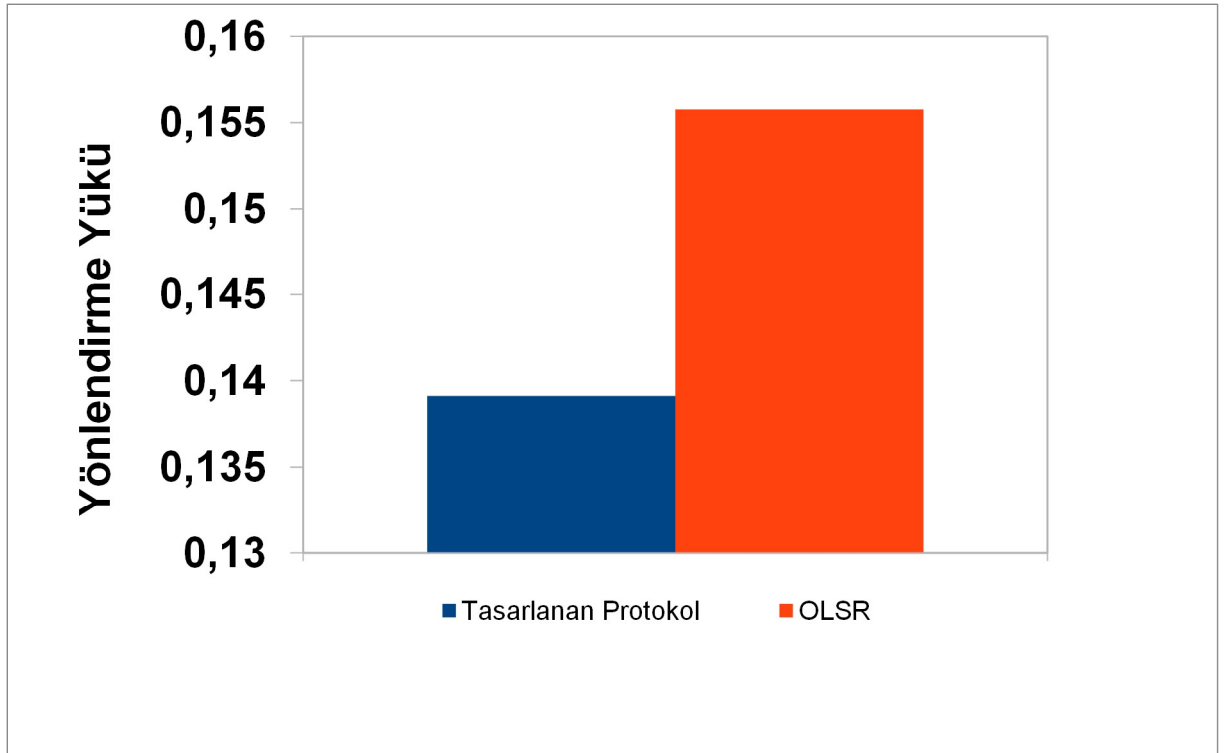
Şekil 4.4’de görüldüğü üzere düğümlerin 50 hızında hareket ettikleri senaryoda OLSR ve Tasarlanan Protokol paket teslim oranı olarak benzer sonuçlar üretmiştir. Tasarlanan protokol ile OLSR performansları hareket ve bağlantılı düğümlerin rastgele olmasından dolayı birbirlerine yakın çıkabilmektedir. Şekil 4.5’deki Yönlendirme yükü ve Şekil 4.6’daki uçtan uca gecikme yükü metriklerine göre ise Tasarlanan Protokol OLSR protokolünden daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Düğüm hızlarının 70 olduğu test: Bu benzetimde 15 düğüm başlangıçta rastgele konumlandırılmış ve 70 hızıyla birlikte rastgele belirlenmiş konumlara hareket etmeleri sağlanmıştır. Bu test için sonuçlar aşağıda sunulduğu gibidir.



Şekil 4.7: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı.

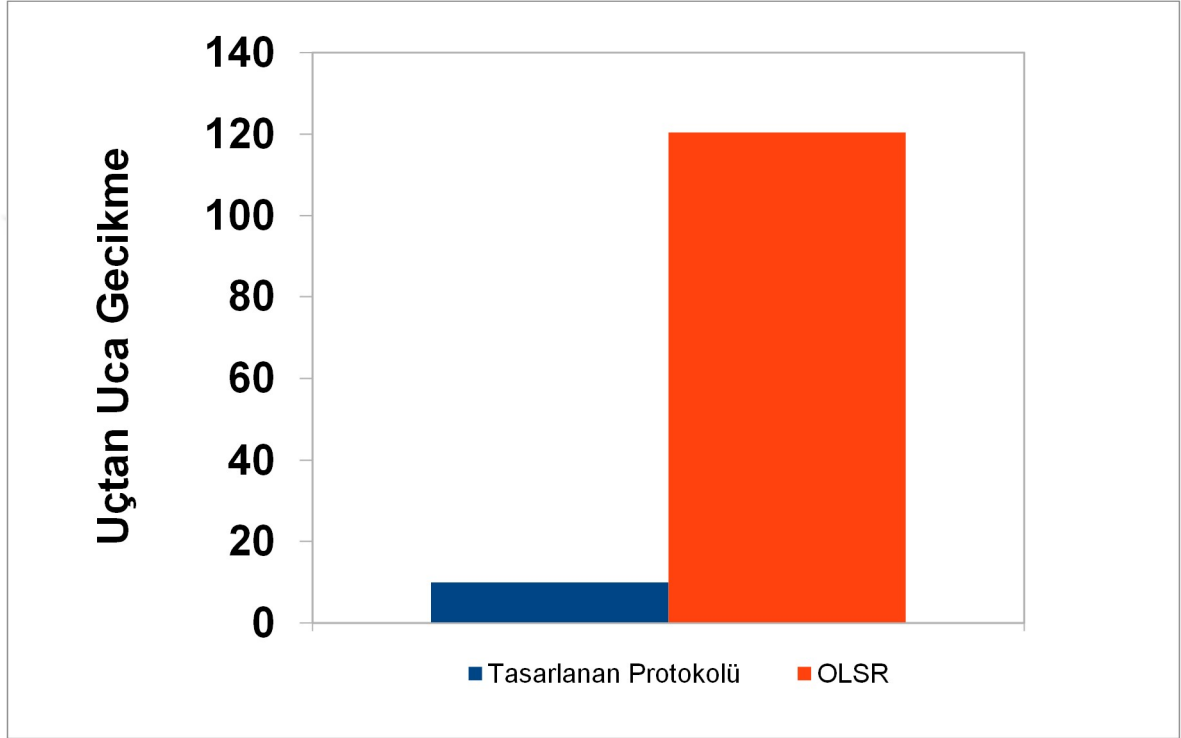
Şekil 4.7’de görüldüğü üzere düğümlerin 70 hızında hareket ettikleri senaryoda OLSR ve Tasarlanan Protokol paket teslim oranı olarak benzer sonuçlar üretmiştir.



Şekil 4.8: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü.

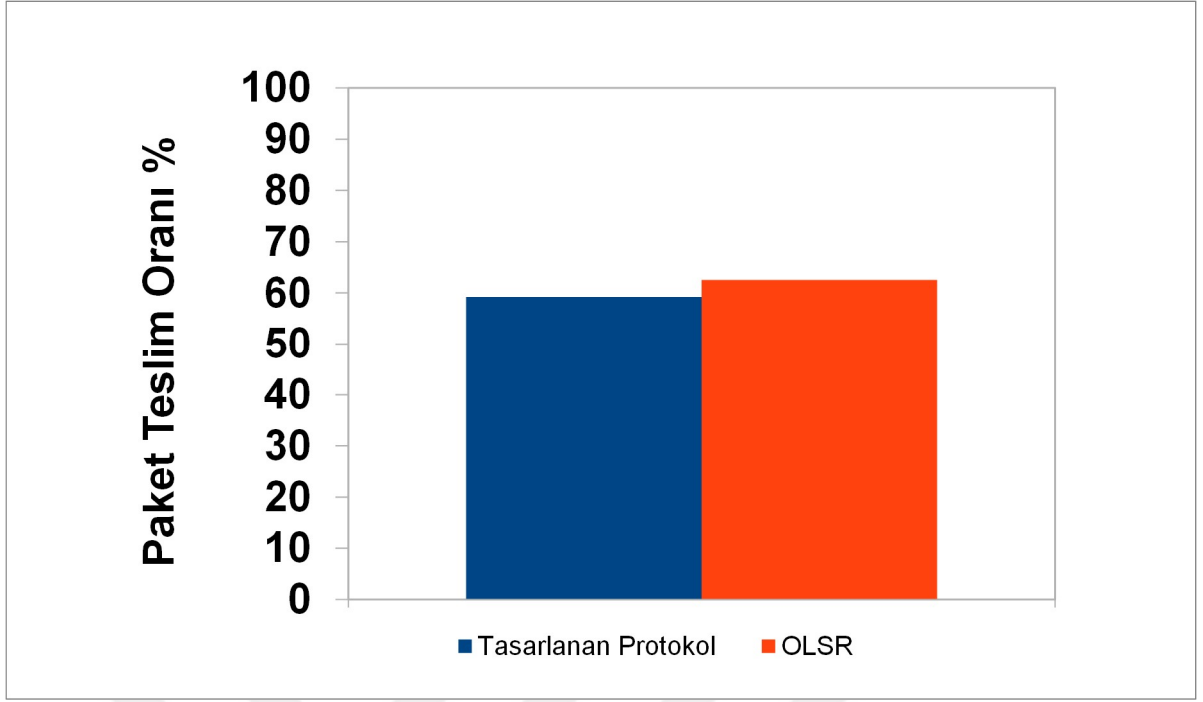
Şekil 4.8'deki yönlendirme yükü ve Şekil 4.9'daki uçtan uca gecikme yükü metriklerine göre Tasarlanan Protokol OLSR protokolünden daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Bu senaryoda düğümlerin 70 hızıyla hareket etmelerine rağmen düğümlerin rastgele konumlandırılmalarına bağlı olarak 40 hızıyla ya da 50 hızıyla hareketin gerçekleştiği senaryolardan uçtan uca gecikme metriğine göre daha iyi sonuçlar sunulmuştur.

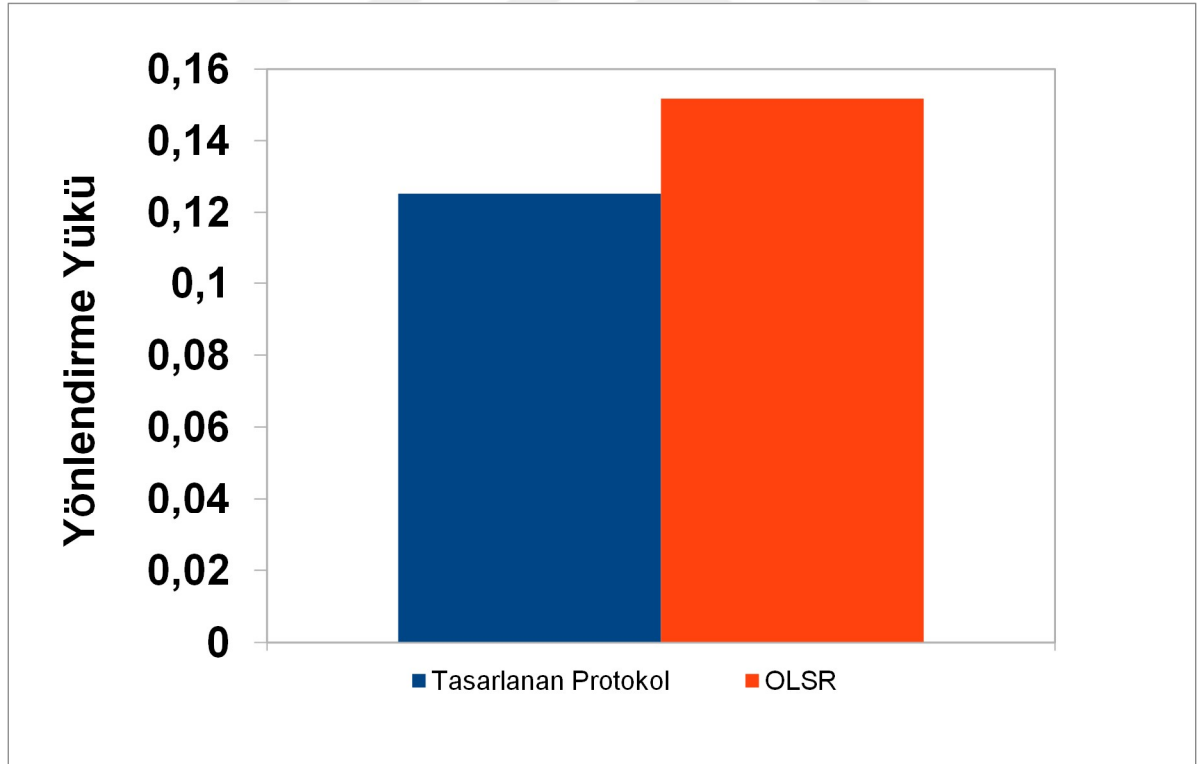


Şekil 4.9: 70 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme.

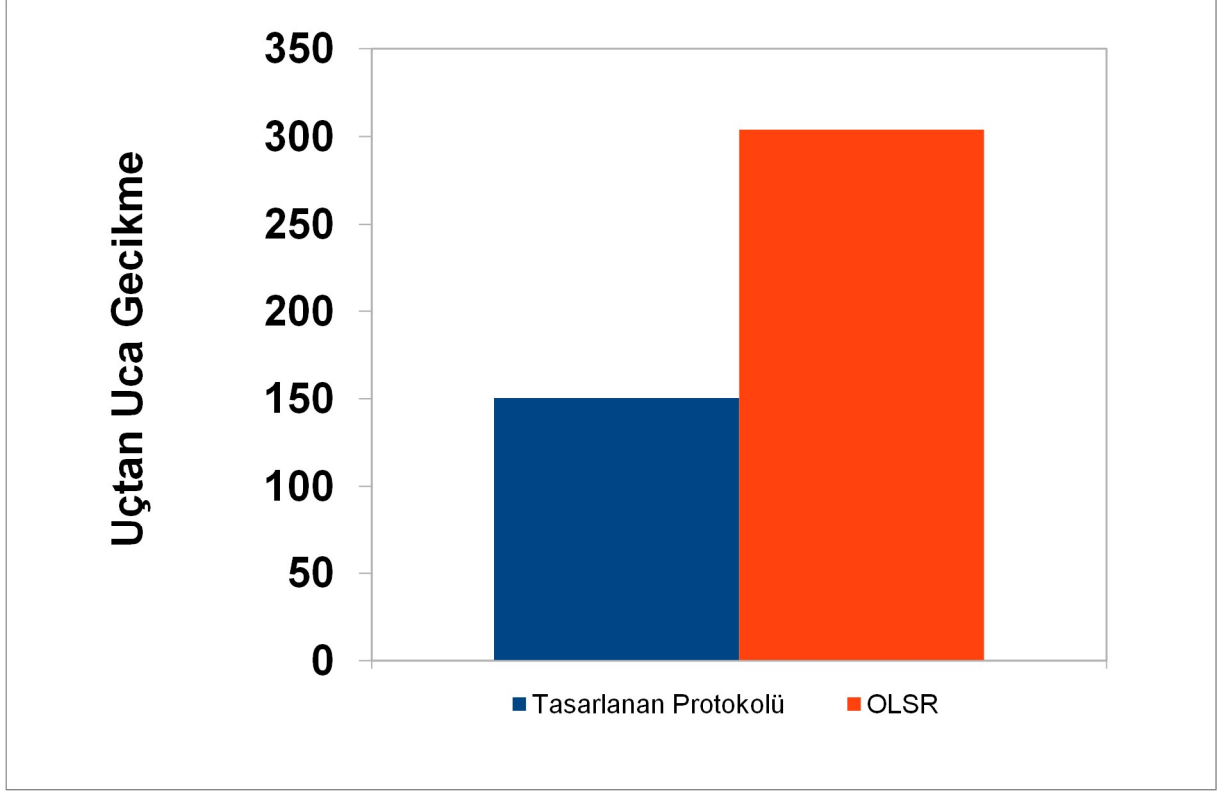
Düğüm hızlarının 80 olduğu test: Bu benzetimde 15 düğüm başlangıçta rastgele konumlandırılmış ve 80 hızıyla birlikte rastgele belirlenmiş konumlara hareket etmeleri sağlanmıştır. Bu test için sonuçlar aşağıda sunulduğu gibidir.



Şekil 4.10: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı.



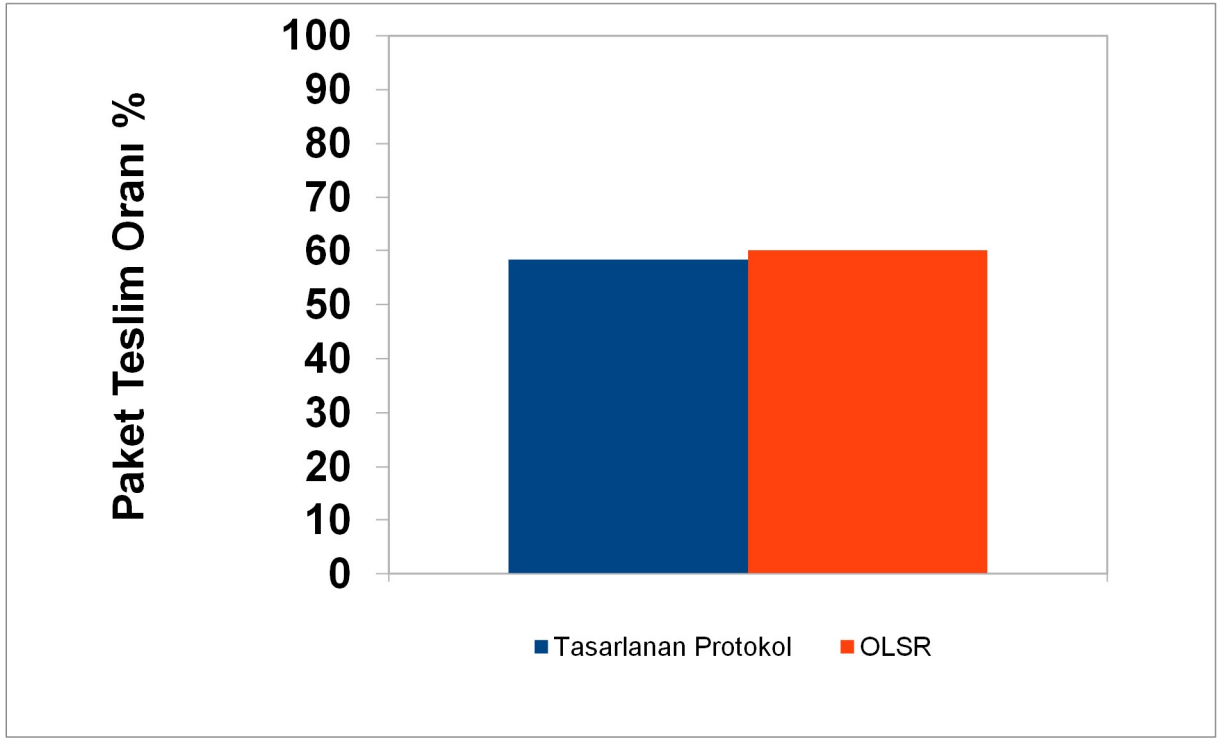
Şekil 4.11: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü.



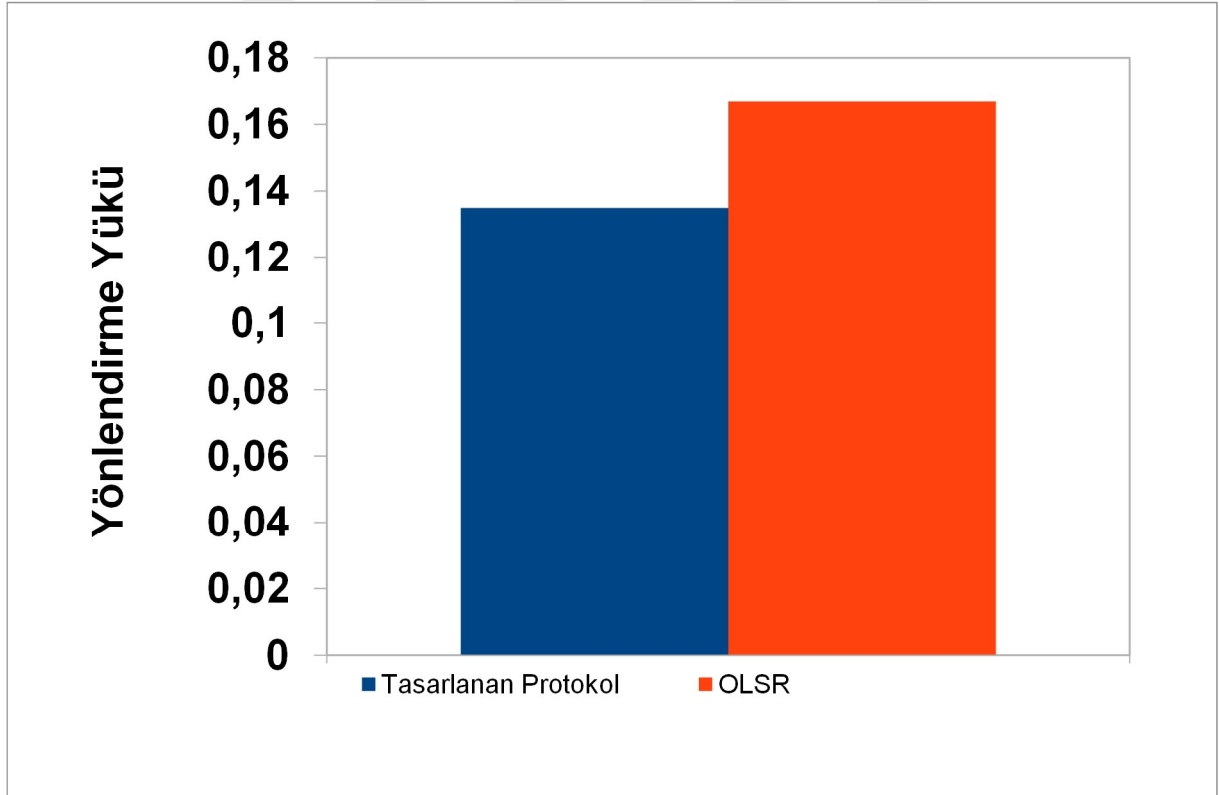
Şekil 4.12: 80 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın uçtan uca gecikme.

Şekil 4.10'de görüldüğü üzere düğümlerin 80 hızında hareket ettikleri senaryoda OLSR ve Tasarlanan Protokol paket teslim oranı olarak benzer sonuçlar üretmiştir. Şekil 4.11'deki Yönlendirme yükü ve Şekil 4.12'deki uçtan uca gecikme yükü metriklerine göre Tasarlanan Protokol OLSR protokolünden daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Düğüm hızlarının 90 olduğu test: Bu benzetimde 15 düğüm başlangıçta rastgele konumlandırılmış ve 90 hızıyla birlikte rastgele belirlenmiş konumlara hareket etmeleri sağlanmıştır. Bu test için sonuçlar aşağıda sunulduğu gibidir.



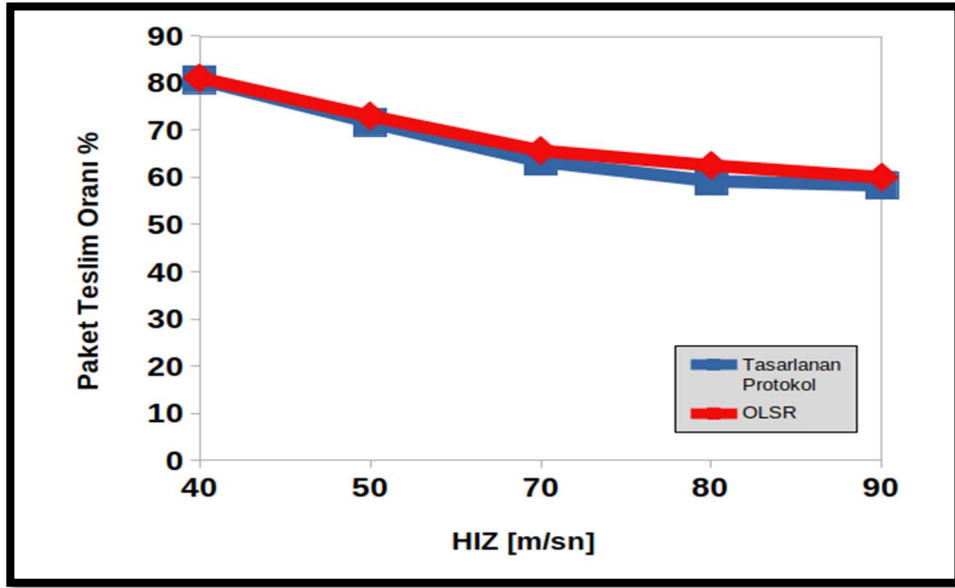
Şekil 4.13: 90 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın paket teslim oranı.



Şekil 4.14: 90 Hızına sahip düğümlerin oluşturduğu ağın yönlendirme yükü.

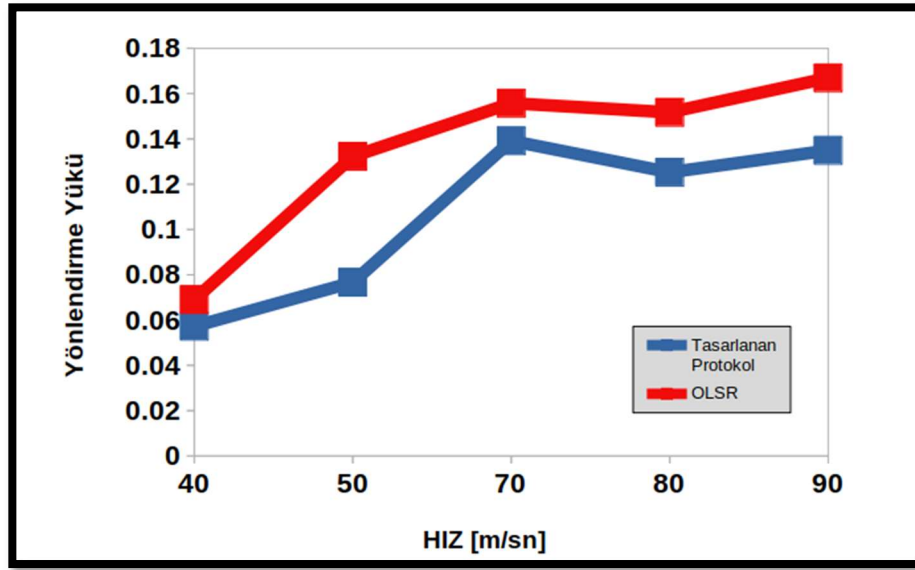
Şekil 4.13'de görüldüğü üzere düğümlerin 90 hızında hareket ettikleri senaryoda OLSR ve Tasarlanan Protokol paket teslim oranı olarak benzer sonuçlar üretmiştir. Şekil 4.14'deki Yönlendirme yükü metriğine göre Tasarlanan Protokol OLSR protokolünden daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Şekil 4.15.'de farklı senaryolara iki protokolün sunduğu paket teslim oran yüzdelere göre çizilmiş bir grafik sunulmaktadır. Grafiğe bakıldığında geliştirilen protokolün OLSR protokolü ile benzer sonuçlar sunduğu görülmektedir. X ekseninde bulunan hızlara bağlı olarak elde edilen sonuçlar yukarıda ayrı ayrı açıklanmıştır. 1000 X 1000 X 1000 boyutlu bir alanda konumlandırılmış düğümler bazı durumlarda iletim gerçekleştirecek kaynak ve hedef arasında yol bulunamamasına sebep olmaktadır. Bu durumundan iletim yolunun harekete bağlı olarak kopma sorununun azaltılmasına rağmen kaynak hedef yolu belirlenemediği için paket teslim oranında iyi sonuçlar sunamamaktadır.



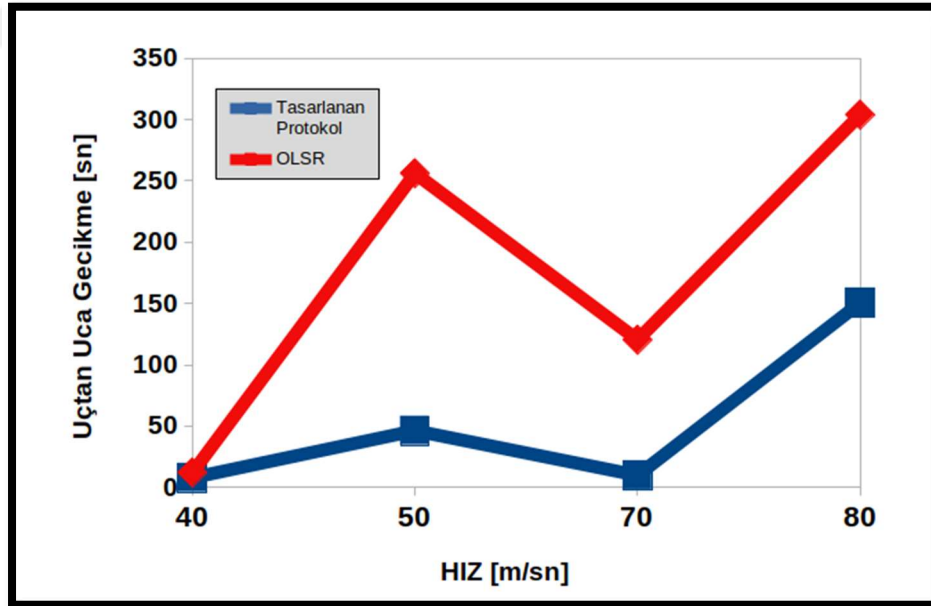
Şekil 4.15: Paket Teslim Oranına göre elde edilen sonuçlar.

Şekil 4.16.'de farklı senaryolara iki protokolün sunduğu yönlendirme yükü değerlerine göre çizilmiş bir grafik sunulmaktadır. Grafiğe bakıldığında tasarlanan protokolün düğüm hareket hızlarının arttığı senaryolarda OLSR protokolden daha iyi sonuçlar sunduğu görülmektedir.



Şekil 4.16: Yönlendirme Yüğüne göre elde edilen sonuçlar.

Şekil 4.17'de farklı senaryolara iki protokolün sunduğu uçtan uca gecikme değerlerine göre çizilmiş bir grafik sunulmaktadır. Grafiğe bakıldığında geliştirilen protokolün OLSR protokolden daha iyi sonuçlar sunduğu görülmektedir.



Şekil 4.17: Uçtan Uca Gecikme metriğine bağlı olarak elde edilen sonuçlar.

5. SONUÇLAR ve YORUMLAR

FANET ağlarda yüksek hareketliliğe bağlı olarak topolojinin sık sık değişim sorunu yaşanmakta ve böylelikle var olan yönlendirme protokolleri ile verimli veri iletimi gerçekleştirilememektedir. Bu çalışmada yüksek hareketlilikte veri iletiminin gerçekleştirebileceği öngörülerek tasarlanan yönlendirme protokolü sunulmuştur. Önerilen yönlendirme protokolü OLSR protokolüne dayanmakta ancak iletim yolunu belirleme kriteri olarak atlama sayısı yerine iki düğüm arasındaki bağlantının kalitesini sunan RSSI değerini baz almaktadır. İki protokolün paket teslim oranı, yönlendirme yükü ve uçtan uca gecikme kriterlerine bağlı olarak karşılaştırma sonuçları simülasyon sonuçları bölümde sunulmaktadır. Önerilen yönlendirme protokolü paket teslim oranı metriğine göre OLSR protokolüne benzer sonuçlar sunarken, yönlendirme yükü ve uçtan uca gecikme metriklerine göre FANET ağlar için verimi arttırdığını sunmaktadır.

5.1. Tartışma ve Yorumlar

Bu çalışmada FANET ağlar için düşük gecikmeli ve yönlendirme yüklü yeni bir yönlendirme protokolü sunulmuş ve elde edilen benzetim sonuçlarına göre FANET ağlarda yüksek hıza bağlı olarak yaşanan iletim sorunlarının yol açtığı yönlendirme yükü ve uçtan uca gecikme metriklerinde önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Bir ağda kaynaklar ve hedefler arasındaki iletim düzeyini gösteren önemli iki metriğe göre elde edilen sonuçlar tasarlanan protokolün iletim geliştirmek için İnsansız Hava Araçları protokolü olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] AlKhatieb A., Felemban E., Naseer A., (2020), “Performance Evaluation of Ad-Hoc Routing Protocols in (FANETs)”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), (pp. 1-6), Seoul, Korea (South), April 2020.
- [2] Alshabtat A. I., Dong L., (2010), “Low Latency Routing Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles Ad-Hoc Networks”, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6(1), 48-54.
- [3] Bekmezci İ., Sahingoz O. K., Temel Ş., (2013), “Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey”, Ad Hoc Network, Science Direct, 11(3), 1254-1270.
- [4] Clausen T., Jacquet P., Adjih C., Laouiti A., Minet P., Muhlethaler P., Qayyum A., Viennot L., (2003), “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”, Institute National De Recherche En Informatique Et En Automatique.
- [5] Dener M., Toklu S., (2009), “DSDV ve DSR Manet Yönlendirme Protokollerinin Başarım Değerlendirmesi”, Journal of Polytechnic, 12(3), 157-166.
- [6] Fan X., Lin J., Zhang C., Zhang S., (2018), “A Cross-Layer Anti-Jamming Routing Protocol for FANETS”, IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC), (pp. 301-305), Chengdu, China, December 2018.
- [7] Jacquet P., Muhlethaler P., Clausen T., Laouiti A., Qayyum A., Viennot L., (2001), “Optimized link state routing protocol for ad hoc networks, Proceedings”, IEEE International Multi Topic Conference, (pp. 62-68), Lahore, Pakistan, 2001, December.
- [8] Kaushik P., (2018), “FANET routing protocols: Review”, International Journal of Advance Research and Development, 3(5), 24-38.
- [9] Khan M. A., Safi A., Qureshi I. M., Khan I. U., (2017), “Flying ad-hoc networks (FANETs): A review of communication architectures, and routing protocols”, First International Conference on Latest Trends in Electrical Engineering and Computing Technologies (INTELLECT), (pp. 1-9), Karachi, Pakistan, November 2017.
- [10] Kirubasri G., Maheswari U., (2016), “A Study on Hardware and Software Link Quality Metrics for Wireless Multimedia Sensor Networks”, Int. J. Advanced Networking and Applications Volume, 8(3), 3103.
- [11] Li X., Yan J., (2017), “LEPR: Link Stability Estimation-based Preemptive Routing protocol for Flying Ad Hoc Networks”, IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), (pp. 1079-1084), Heraklion, July 2017.

- [12] Pu C., (2018), "Link-Quality and Traffic-Load Aware Routing for UAV Ad Hoc Networks", IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC), (pp. 71-79), Philadelphia, PA, USA, October 2018.
- [13] Pu C., (2018), "Jamming-Resilient Multipath Routing Protocol for Flying Ad Hoc Networks", IEEE Access, 6, 68472-68486.
- [14] Radley S., Sybi C. J., Premkumar K., (2020), "Multi Information Amount Movement Aware- Routing in FANET: Flying Ad-hoc Networks", Mobile Networks and Applications, 25(2), 596-608.
- [15] Sharma S., (2009), "P-OLSR: Position-based optimized link state routing for mobile ad hoc networks", IEEE 34th Conference on Local Computer Networks, (pp. 237-240), Zurich, Switzerland, October 2009.
- [16] Usman Q., Chughtai O., Nawaz N., Kaleem Z., Khaliq K. A., Nguyen L. D., (2021), "A Reliable Link-Adaptive Position-Based Routing Protocol for Flying ad hoc Network", Mobile Networks and Applications, 26(4), 1801-1820.
- [17] Yin J., Wang L., Han C., Yang Y., (2017), "NC-OLSR: A network coding based OLSR multipath transmission scheme for FANETs", 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), (pp. 1007-1012), Hangzhou, China, November 2017.
- [18] Zheng Y., Jiang Y., Dong L., Wang Y., Li Z., Zhang H., (2014), "A mobility and load aware OLSR routing protocol for UAV mobile ad-hoc networks", International Conference on Information and Communications Technologies (ICT 2014), Nanjing, China, May 2014.
- [19] Waheed A., Wahid A., Shah M. A., (2019), "LAOD: Link Aware on Demand Routing in Flying Ad-Hoc Networks", IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), (pp. 1-5), Shanghai, China, May 2019.
- [20] Xie P., (2018), "An Enhanced OLSR Routing Protocol based on Node Link Expiration Time and Residual Energy in Ocean FANETS", 24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), (pp. 598-603), Ningbo, China, November 2018.
- [21] Web 1, (2022), https://www.researchgate.net/figure/A-basic-mobile-ad-hoc-network-Source-5_fig1_286762843, (Erişim tarihi: 07.03.2022).

ÖZGEÇMİŞ

Sümeyye KAYMAK 2011-2012 yılında başladığı Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü 2016-2017 yılında başarıyla tamamlayarak 2018-2019 yılı Bahar dönemi ile yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. Tez çalışmasının sonlandığı 2022 yılı Mayıs ayında halen Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Kaymak S., Çelebi H., (2021), “FANET Ağları için Düşük Gecikmeli ve Yönlendirme Yüklü Yönlendirme Protokolü”, International Marmara Sciences Congress (Imascon Autumn), 643-650.

