



**KABLOSUZ AĐ UYGULAMALARINDA RTS/CTS MEKANİZMASININ  
PERFORMANSA ETKİSİ**

**Bekir BORSUK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2016**

Bekir BORSUK tarafından hazırlanan “KABLOSUZ AĞ UYGULAMALARINDA RTS/CTS MEKANİZMASININ PERFORMANSA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan:** Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Prof. Dr. Recep DEMİRCİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/09/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bekir Borsuk  
09/09/2016



# KABLOSUZ AĞ UYGULAMALARINDA RTS/CTS MEKANİZMASININ PERFORMANSA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Bekir BORSUK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2016

## ÖZET

Teknolojinin gelişimi ile birlikte kablosuz ağların, kapsama alanlarının artması, kullanımının yaygınlaşması ve kurulumlarının kolaylaşması bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Düğüm sayılarının artması, veri haberleşmesi yoğunluğunu ve veri trafiğini arttırmıştır. Artan veri trafiği, performansın düşmesine neden olmaktadır. Ağın düşen performansından en çok etkilenen ve servis kalitesine ihtiyaç (Quality of Service- QoS) duyan çoklu ortam uygulamaları (multimedya haberleşmesi) olmuştur. Hareketli kablosuz ağlarda, özellikle çoklu ortam uygulamalarında ihtiyaç duyulan QoS'ı olumsuz etkilemektedir. Kablosuz ağların sağladığı hareket özgürlüğü, kapsama alanı sorunlarını da beraberinde getirmiş aynı zamanda gizli düğüm probleminin (Hidden Node Problem) ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla trafik çarpışmaları (Collision) ciddi oranda artmış ve performans kayıpları meydana gelmeye başlamıştır. Bu sebeple günümüzdeki araştırmalar kablosuz ağlardaki bu performans kayıplarının en aza indirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, RTS/CTS (Request to Send/ Clear to Send) mekanizmasının, veri taşıma performansında etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağlarında, çoklu ortam uygulamaları kullanılarak gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumlarda RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasının ağ performansına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, 6 düğümden oluşan kablosuz bir ağ da; RTS/CTS mekanizmasının kapalı olduğu ve farklı RTS eşik değerlerinin (1-200-400-800-1600-2346 bayt) kullanıldığı 14 farklı senaryo kullanılmıştır. Senaryolar OPNET Modeler benzetim aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RTS/CTS mekanizması açıkken verilmiş olan RTS eşik değerinden daha büyük veri çerçevesi geldiğinde RTS/CTS mekanizması devreye girmekte aksi takdirde kullanılmamaktadır. RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkileri, birim zamanda işlenen paket miktarı (Throughput), yeniden iletim girişimi sayısı (Retransmission Attempts), düşürülen paket sayısı (Packet Drop), gecikme (Delay), gecikmeler arasındaki farklılık (Jitter) ve alınan veri trafiği kriterleri kullanılarak incelenmiştir.

Bilim Kodu : 92407

Anahtar Kelimeler : Gizli Düğüm Problemi, RTS/CTS, WLAN Performans analizi, IEEE 802.11 MAC protokolü

Sayfa Adedi : 63

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK

RTS/CTS MECHANISM'S EFFECT ON PERFORMANCE IN WIRELESS NETWORK  
APPLICATIONS

(M. Sc. Thesis)

Bekir BORSUK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2016

ABSTRACT

With development of technology; mobile and wireless networks' coverage has extended and implementation became easier. As a result, their usage has increased. Hence, these developments also lead some problems. Due to inflation of interconnecting devices, data that flow through the network increases, on the other hand, performance of the network decreases. Therefore, multimedia applications, which relies on high Quality of service (QoS), widely effected by this deficiency. In addition, coverage and hidden node problems come up with freedom of movement which mobile and wireless networks provide. Collision detections and performance deficiencies occur as a result of hidden node problem. Thus, recent works in this area focus on decreasing the effects of performance deficiency. The results of previous studies show that, RTS values are effective on data transmission performance at RTS / CTS (Request to Send/ Clear to Send) mechanism in wireless networks. In this study, effects of RTS/CTS mechanism usage on transmission performance in case the absence or the presence of hidden node problem for multimedia applications at IEEE 802.11 MAC protocol revealed. No RTS and selected RTS values (as 1-200-400-800-1600-2346 bytes) scenarios are used. The values which used as scenarios are RTS threshold values. When data frames come larger than RTS, the RTS/CTS mechanism step in. By using Throughput, Retransmission Attempts, Packet Drop, Delay, Jitter and Traffic Received criteria, RTS/CTS mechanism's effects on network performance examined. Applications were simulated with 6 nodular structure over 14 different scenarios by using OPNET Modeler Simulation Tool. The results show that the RTS/CTS mechanism has improved performance.

Science Code : 92407

Key Words : Hidden Node Problem, RTS/CTS, WLAN Performance Analysis, IEEE 802.11 MAC protocol

Page Number : 63

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cemal KOÇAK

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve tüm hayatım boyunca destek ve sevgileriyle hep yanımda olan eşim Nurhican BORSUK ve aramıza yeni katılan kızımız Elif BORSUK'a teşekkürü bir borç bilirim.





## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KABLOSUZ AĞLAR .....	5
2.1. IEEE 802 Standart Komitesi Kablosuz Ağ Çalışma Grupları .....	6
2.2. Kablosuz Ağ Türleri .....	6
2.2.1. Kablosuz kişisel alan ağı (WPAN) .....	7
2.2.2. Kablosuz metropol alan ağı (WMAN).....	7
2.2.3. Kablosuz geniş alan ağı (WWAN) .....	8
2.2.4. Kablosuz yerel alan ağı (WLAN) .....	8
2.3. Kablosuz Ağların Temel Bileşenleri.....	11
2.4. Kablosuz Yerel Alan Ağları Yapıları .....	11
2.4.1. Tasarsız ağ yapısı (Ad Hoc).....	12
2.4.2. Tasarlı ağ yapısı (Infrastructure, Client/Server) .....	13
2.5. Kablosuz Yerel Alan Ağı Katmanları.....	13
2.5.1. 802.11 MAC protokolü çerçeve yapısı .....	15
2.6. Gizli Düğüm Problemi .....	16

3. TAŞIMA ALGILAMALI ÇOKLU ERİŞİM VE ÇARPIŞMADAN KAÇINMA .....	19
3.1. RTS/CTS Mekanizması (Request to Send/ Clear to Send Mechanism) .....	21
4. YÖNTEM VE ARAÇLAR .....	25
4.1. OPNET .....	25
4.1.1. OPNET modeller'in hiyerarşik yapısı.....	27
5. BENZETİM VE SENARYOLAR.....	31
6. SONUÇLAR VE ANALİZLER.....	39
6.1. Gizli Düğüm Probleminin Olmadığı Grafik Analizleri.....	40
6.2. Gizli Düğüm Probleminin Olduğu Grafik Analizleri.....	42
6.3. Performans Kriterlerine Göre Sonuçların Analiz Edilmesi.....	47
6.3.1. RTS değerlerine göre alınan veri trafiği değişimi .....	47
6.3.2. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarı değişimi .....	48
6.3.3. RTS değerlerine göre gecikme süresi değişimi .....	49
6.3.4. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi değişimi .....	50
6.3.5. RTS değerlerine göre birim zamandaki paket miktarı değişimi .....	51
6.3.6. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikmesi değişimi .....	52
6.3.7. RTS değerlerine göre gecikmeler arasındaki farklılık değişimi .....	53
6.4. Elde Edilen Sonuçlara Göre Uygun RTS Eşik Değerlerinin Seçimi .....	54
6.5. Benzetim Sonuçlarının Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması .....	56
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR .....	59
ÖZGEÇMİŞ .....	63

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. IEEE 802 standart komitesi kablosuz ağ çalışma grupları .....	6
Çizelge 2.2. Kablosuz ağ türleri.....	7
Çizelge 4.1. OPNET kullanıcı profilleri .....	26
Çizelge 5.1. Uygulama tanımlama ayarları.....	35
Çizelge 5.2. Profil tanımlama ayarları .....	36
Çizelge 5.3. Gizli düğüm problemi ve RTS değeri .....	36
Çizelge 5.4. Senaryolar ve isimlendirmeleri.....	37
Çizelge 5.5. Kablosuz ağ parametreleri .....	38
Çizelge 6.1. Performans kriterlerine göre genel sonuçlar .....	47
Çizelge 6.2. Diğer çalışmalar ile karşılaştırılması .....	56

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tasarsız (Ad-Hoc) ağ yapısı .....	12
Şekil 2.2. Tasarlı (Infrastructure) ağ yapısı .....	13
Şekil 2.3. OSI modeline göre IEEE 802.11 katmanları .....	14
Şekil 2.4. IEEE 802.11 MAC çerçeve yapısı.....	15
Şekil 2.5. Gizli düğüm problemi.....	17
Şekil 3.1. CSMA/CA erişim metotları.....	20
Şekil 3.2. IEEE802.11 DCF çerçeve yapıları .....	22
Şekil 3.3. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodu .....	22
Şekil 3.4. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodunda çarpışma.....	23
Şekil 3.5. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodunda ağ tahsis vektörü (NAV).....	24
Şekil 4.1. OPNET benzetim programı akışı.....	26
Şekil 4.2. Editörler arası geçişler .....	28
Şekil 5.1. Nesne paleti ekranı .....	31
Şekil 5.2. Gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısı .....	32
Şekil 5.3. Gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısında kapsama alanları .....	33
Şekil 5.4. Gizli düğüm probleminin olduğu ağ yapısı .....	34
Şekil 5.5. Gizli düğüm probleminin olduğu ağ yapısında kapsama alanları .....	35
Şekil 6.1. Benzetim sonuç grafiklerini elde etme .....	40
Şekil 6.2. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS değişiminin birim zamanda işlenen paket miktarına etkisi .....	41
Şekil 6.3. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS'nin Receiver'ın aldığı trafiğe etkisi .....	41
Şekil 6.4. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS değişiminin gecikme süresine etkisi.....	42
Şekil 6.5. Gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumlarda birim zamanda işlenen paket miktarı.....	43

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.6. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi sayısı .....	43
Şekil 6.7. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikme süresi .....	44
Şekil 6.8. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarları .....	45
Şekil 6.9. RTS değerlerine göre gecikme süreleri .....	45
Şekil 6.10. RTS değerlerine göre receiver'ın aldığı trafik miktarı .....	46
Şekil 6.11. RTS değerlerine göre alınan veri trafiği değişimi .....	48
Şekil 6.12. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarı değişimi .....	49
Şekil 6.13. RTS değerlerine göre gecikme süresi değişimi .....	50
Şekil 6.14. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi değişimi .....	51
Şekil 6.15. RTS değerlerine göre birim zamandaki paket miktarı değişimi .....	52
Şekil 6.16. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikmesi değişimi .....	53
Şekil 6.17. RTS değerlerine göre gecikmeler arasındaki farklılık değişimi .....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>M</b>	Minute
<b>Sec</b>	Second
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>ACK</b>	Acknowledgement
<b>AP</b>	Access point
<b>BSS</b>	Basic service set
<b>CDMA</b>	Code division multiple access
<b>CRC</b>	Cyclic redundancy check
<b>CSMA/CA</b>	Carrier sense multiple access/collision avoidance
<b>CTS</b>	Clear to send
<b>CW</b>	Contention window
<b>DCF</b>	Distributed coordination function
<b>DIFS</b>	Distributed inter-frame space
<b>DS</b>	Distributed system
<b>DSSS</b>	Direct sequence spread spectrum
<b>ESS</b>	Extended service set
<b>FHSS</b>	Frequency hopping spread spectrum
<b>FTP</b>	File transfer protocol
<b>GDP</b>	Gizli düğüm problemi
<b>GPRS</b>	General packet radio service
<b>GSM</b>	Global system for mobile communications
<b>HiperLAN</b>	High performance radio local area network
<b>HiperMAN</b>	High performance radio metropolitan area network
<b>HomeRF</b>	Home radio frequency

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>HR-DSSS</b>	High rate direct sequence spread spectrum
<b>HTTP</b>	HyperText transfer protocol
<b>IBSS</b>	Independent basic service set
<b>ICI</b>	Interface control information editor
<b>IEEE</b>	Institute of electrical and electronics engineers
<b>IR</b>	Infrared
<b>IrDA</b>	Infrared data association
<b>LAN</b>	Local-area network
<b>LLC</b>	Logical link control
<b>MAC</b>	Medium access control
<b>NAV</b>	Network allocation vector
<b>ODC</b>	Order Dependent Capture
<b>OFDM</b>	Orthogonal frequency division multiplexing
<b>OPNET</b>	Optimized Network Engineering Tool
<b>OSI</b>	Open systems interconnection
<b>PDF</b>	Probability density function editor
<b>RF</b>	Radio frequency
<b>RSVP</b>	Resource Reservation Protocol
<b>RTS</b>	Request to send
<b>SIFS</b>	Short inter-frame space
<b>SSID</b>	Service set identifier
<b>TCP</b>	Transmission control protocol
<b>WAN</b>	Wide-area network
<b>WAP</b>	Wireless access point
<b>WIMAX</b>	Worldwide interoperability for microwave access
<b>Wi-Fi</b>	Wireless fidelity
<b>WLAN</b>	Wireless local area network
<b>WMAN</b>	Wireless metropolitan area network
<b>WPAN</b>	Wireless personel area network
<b>WWAN</b>	Wireless wide area network
<b>3G</b>	3rd generation





## 1. GİRİŞ

İletim hattı olarak kablo yerine havayı kullanarak düğümden düğüme ya da bir ağ modeli içindeki düğümler arasında veri, ses, görüntü gibi ağ trafiklerinin taşınmasını ve bilgi kaynaklarına ulaşılmasını sağlayan teknoloji kablosuz iletişim teknolojisidir. Kablosuz ağlar, kablolu iletim hatlarından farklı olarak veri iletiminde radyo dalgaları, kızılötesi dalgalar gibi elektromanyetik dalgalar kullanmaktadır. Bu iletimler belirli bir frekans kullanılarak yapılır ve frekans bandı sınırlıdır. Düğüm sayısının fazla olması ve gizli düğüm problemi gibi sebeplerle aynı frekans kanalını kullanan düğümler arasında trafik çarpışmalarından kaynaklı problemler olabilmektedir.

Hareket özgürlüğü sağlaması sebebiyle de büyük bir tercih sebebi olan kablosuz teknolojilerin gelişimi ve yaygınlaşması birbirine paralel olarak hızlı bir şekilde ilerlemiş bu sebeple günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Video konferans gibi çoklu ortam uygulamalarının kullanımının artmasıyla veri aktarımı Kilobaytlar seviyesinden Terabaytlar seviyesine kadar artmıştır. Bu artış ile beraber kablosuz ağlarda, paket kayıp oranının fazla olması, paket gecikmesinin yüksek olması, alınan paket sayısının üretilen paket sayısından az olması, çarpışmanın yüksek olması, yeniden iletim girişiminin artması (retransmissions attempts), birim zamanda işlenen paket miktarının (throughput) düşmesi gibi durumlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ağın performansını artıracak önlemlerin alınması ve iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Literatürde ağ performansını daha iyi seviyelere çıkarabilmek amacıyla bazı çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Tez çalışmasının içeriğine uygun olarak kablosuz ağlarda, RTS/CTS (Request to Send/ Clear to Send) mekanizmasının veri taşıma performansına etkileri üzerine yapılan araştırmalar incelenmiştir. Khan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, gizli düğüm problemi olduğu durumda IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağların MAC katmanında RTS/CTS mekanizmasının performansa etkisi analiz edilmiştir [1]. Gizli düğüm probleminde RTS/CTS mekanizması kullanıldığında ağ performansının iyileştiği görülmüştür. Poudyal ve arkadaşlarının çalışmasında, OPNET Modeller benzetim programı kullanılarak hareketli ve kablosuz Ad-Hoc ağlarda, RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkisi incelenmiştir [2]. Gizli düğüm problemi mevcutken RTS/CTS kullanılmadığı koşullarda performans büyük ölçüde azalmıştır. RTS/CTS mekanizması

kullanıldığında gizli düğüm problemi varken performans artışı meydana gelmiştir. Lee yaptığı çalışmada ise hareketli ve kablosuz Ad-Hoc ağlarda İletim Kontrol Protokolü (TCP - Transmission Control Protocol) performansı üzerinde RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkisini incelemiştir [3]. Gizli düğüm problemi varlığında RTS/CTS mekanizmasının ağ performansını olumlu katkı yaptığı belirtilmiştir. Ali ve Odah yaptığı çalışmada, OPNET Modeler benzetim programı ile RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkilerini incelemiştir [4]. Birim zamanda işlenen paket miktarı ve gecikme grafikleri ile sonuçların analizi yapılmıştır. Gizli düğüm probleminin olması durumunda RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ağ performansını artırmış, RTS'ye verilen eşik değeri azaldıkça birim zamanda işlenen paket miktarının arttığı belirtilmiştir. RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasının veri çerçevelerinin çarpışma olasılığını azalttığı sonucuna varılmıştır. Jasani ve Alaraje OPNET Modeler benzetim programını kullanarak yaptıkları çalışmada, IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağları üzerinde RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkisi incelenmiştir [5]. Bu çalışmada gizli düğüm mekanizmasına göre iki senaryo kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Gizli düğüm probleminde mevcutken RTS/CTS kullanımı ile düğümler arasındaki veri çerçevelerinin çarpışma miktarları ve gecikme süreleri azalmıştır. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumlarda RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasına gerek olmadığı belirtilmiştir. Maraj ve Arianit yapmış oldukları çalışmada, IEEE 802.11g kablosuz yerel alan ağlarında, RTS/CTS mekanizmasının performansa etkisini incelemiştir [6]. OPNET (Riverbed) benzetim aracının kullanıldığı çalışmada düşürülen paket miktarı ve ortama erişim gecikmesi (media access delay) metriklerini kullanarak değerlendirme yapılmıştır. RTS/CTS mekanizması kullanılmasında RTS eşik değeri 512 bayt olarak seçilmiş ve performans metrikleri incelendiğinde düşürülen paket miktarının azaldığı, ortama erişim gecikmesini kayda değer şekilde değişmediği gözlemlenmiştir. Çarpışma ihtimalinin yüksek olduğu senaryolarda RTS/CTS mekanizmasının çarpışmalardan kaçınmak amacıyla kullanılmasının bir ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır. Fettouh ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, IEEE 802.11b kablosuz yerel alan ağlarında, OPNET programıyla gizli düğüm problemi varlığında RTS eşik değerinin 256 bayt ve 1024 bayt olduğu senaryolar kullanılmıştır [7]. RTS/CTS mekanizmasının kullanılması, çarpışma olasılıklarının yüksek olduğu ağlarda çarpışmaları minimize ederek birim zamanda işlenen paket miktarının (throughput) önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. RTS/CTS mekanizmasının kullanılması gizli düğüm probleminden kaynaklı performans problemlerini azalttığı belirtilmiştir. Cheng, yaptığı çalışmada IEEE 802.11 multi-rate

kablosuz yerel alan ağlarında kullanılan MAC protokolünde DCF erişim metodunun gizli düğüm problemi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir [8]. Yoğun trafiğin olduğu multi-rate kablosuz yerel alan ağlarında performansın arttığı gözlemlenmiştir. Habib ve Bassil yaptıkları çalışmada, VANET ağlarda gizli düğüm problemi mevcutken RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasının kaybedilen paket miktarını azalttığını ortaya çıkartmıştır [9].

Patel ve Vegad yapmış olduğu çalışmada, kablosuz yerel alan ağları IEEE 802.11 MAC protokolünde, RTS/CTS mekanizmalı erişim metodunun kullanıldığı durumlarda ODC'nin (Order Dependent Capture) olduğu ve olmadığı durum için NS-2 yardımı ile ağ performansı karşılaştırılmıştır [10]. ODC'nin mevcut olduğu durumlarda RTS/CTS mekanizmasının kullanılması birim zamanda işlenen paket miktarı (throughput) değerlerini yükseltmiştir. Ayrıca ODC'nin olduğu ve olmadığı durumda zincir topolojisinde RTS/CTS mekanizmasının temel erişim metoduna göre daha düşük performans sergilediği belirtilmiştir. ODC'nin olmadığı durumlarda grid ve rasgele ağ topolojilerinde RTS/CTS mekanizmasının kullanımında daha iyi performans elde edildiği belirtilmiştir.

Manitpornsut ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, istasyondan erişim noktasına FTP iletimi mevcutken gizli düğüm probleminde RTS/CTS'nin kullanılması birim zamanda işlenen paket miktarını artırmıştır [11]. Erişim noktasından istasyona olan iletimde RTS/CTS'nin kullanılması sistem performansını artırmamıştır. Çalışmanın sonunda RTS/CTS mekanizmasının gizli düğüm problemine çözüm olmadığı öne sürülmüştür. Wu ve Hou yapmış oldukları çalışmada RTS/CTS mekanizmasının kablosuz Multihop Ad-Hoc ağlarda ki ağ performansına etkisini araştırmıştır [12]. Multihop ağda birim zamanda işlenen paket miktarının Single-hop ağa göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. RTS/CTS mekanizmasının ağ performansını olumlu olarak değiştirmedeği vurgulanmıştır.

Çoklu ortam uygulamaları ile ilgili birçok çalışma mevcut olduğu gibi bundan bağımsız olarak RTS/CTS mekanizmasının ağdaki veri iletim performansına etkisi ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır. Ancak RTS/CTS mekanizmasının çoklu ortam uygulamaları üzerindeki etkisi ve performansın iyileştirilmesi için kullanılması tavsiye edilen RTS değerlerinin ne olacağı bu tez çalışması ile ortaya konulmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak kablosuz ağlarda, çoklu ortam uygulamalarından video konferans trafik türü

kullanılarak gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumlarda RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkisi incelenmiş ve hangi durumlarda performansın daha iyi olduğu ortaya konulmuştur. Yine bir başka farklılık olarak, daha fazla hareketli düğüm ile aynı trafik türünün very light, light, medium, heavy, very heavy olmak üzere 5 farklı format ve büyüklüklerdeki paket yapıları kullanılarak gerçeğe daha yakın bir benzetim ortamı oluşturulmuştur. Çalışmada RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasının yanında, farklı RTS değerleri de (1-200-400-800-1600-2346 bayt) kullanılarak ağ performansına etkisi ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde kablosuz ağlardan bahsedilerek gizli düğüm problemi açıklanmış, üçüncü bölüm de CSMA/CA ve RTS/CTS mekanizmasının çalışma prensipleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan yöntem ve araçlardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde gerçekleştirilen senaryolar ve benzetim parametreleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Benzetim sonuçları ve analizler altıncı bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ise yedinci bölümde değerlendirilmiştir.

## 2. KABLOSUZ AĞLAR

Kablosuz ağlar, fiziksel bağlantı yerine iletim ortamı olarak havayı kullanarak elektromanyetik dalgalar yardımıyla düğümler arası veri iletimini gerçekleştirir. Tarihçesi oldukça eskilere dayanan kablosuz ağların gelişimi artan bir ivmeyle devam etmiş ve kullanım alanları gün geçtikçe yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yüzden kablosuz ağ tasarımları yapılırken ağın büyüme potansiyeli göz önünde bulundurulmalı ve buna uygun erişim noktası ve diğer ağ cihazları kullanılmalıdır.

Kablosuz ağlar son yıllarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen elektromanyetik dalgalar 1900'lü yıllarda keşfedilmiştir. Radyo dalgaları kullanılarak ilk kablosuz telgraf 1901 yılında Atlantik Okyanusu'nun karşısına gönderilmiştir. 1940'lı yıllarda (ikinci dünya savaşı) radyo dalgaları, radar sistemlerinde kullanılmış ve daha sonra ABD ordusu tarafından kablosuz veri transferi yapabilmek amacıyla kullanılmıştır. Bu veri transferi esnasında radyo dalgalarını şifreli olarak göndermeyi de başarmışlardır. Kablosuz veri transferi bu savaş esnasında oldukça fazla kullanılmış ve teknolojik gelişmelerin dünya tarihinde ne kadar etkili olduğunu bir kez daha göstermiştir [13].

Yaşanan bu gelişmelerden sonra Hawaii Üniversitesinde bulunan araştırmacılar tarafından 1971 yılında ilk paket tabanlı radyo iletişim ağını kurulmuştur. Bu ilk kurulan ağ ALOHANET olarak isimlendirilmiş ve ilk kablosuz yerel alan ağı olmuştur. Bu ağda, 4 ayrı ada da konuşlanmış ve 7 bilgisayardan oluşan yıldız topolojisi kullanılmış ve kablosuz ağların gelişimi bu şekilde başlamıştır [13].

1983 yılında hücresel telefonlar ortaya çıkmış ve 1990'dan itibaren kablosuz ağların gelişimi ve kullanımı hızla artarak çeşitli işyerlerinde kullanılmaya başlanmıştır [13]. Ancak veri aktarım hızının yeterli seviyede olmaması ve maliyetlerin yüksekliği gibi sebeplerle yavaş bir yayılım göstermiştir.

1997 yılında Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından 802.11 standartları ortaya çıkmaya başlamıştır. Ağ da yaşanan sorunların kablosuz ağ standartları ile birlikte çözülmesiyle 2000 yılından sonra daha hızlı bir yayılım göstermiştir. IEEE standartlarına göre üretilmiş ürünler farklı

firmalarda üretilmiş olsalar bile aynı ağda sorunsuz olarak kullanılabilirler. Bu sebeple kablosuz yerel alan ağlarında, IEEE kriterlerine göre üretilmiş ürünler, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.1. IEEE 802 Standart Komitesi Kablosuz Ağ Çalışma Grupları

Birçok ağ cihazının birbiriyle uyum içerisinde çalışabilmesi, verinin nasıl iletileceğinin belirlenmesi, hataların nasıl saptanacağı ve geleceğe dönük problemlerin ortaya çıkmasının engellenmesi amacıyla dünya genelinde kabul görmüş bazı standartlar ortaya çıkmıştır. Birçok şirkette bu standartlara uygun ağ cihazları üretmektedir. Bu sayede farklı firmalar ait cihazlar herhangi bir problem oluşmadan aynı ağ üzerinde çalışmaktadırlar. Bu standartları ortaya çıkaran IEEE kendi kuruluş teşkilatı bünyesinde çeşitli çalışma gruplarını barındırmaktadır. Bu çalışma grupları sayesinde iş yükü verimli bir şekilde dağıtılmış olur ayrıca her ekip ayrı bir konu üzerinde uzmanlaşarak yenilikler ortaya koyabilmektedir. Bu çalışma grupları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. IEEE 802 standart komitesi kablosuz ağ çalışma grupları [14]

Protokol Kodu	Çalışma Grupları
802.11	Kablosuz Yerel Alan Ağları
802.15	Kablosuz Kişisel Alan Ağları (1999)
802.16	Kablosuz Metropol Alan Ağı
802.18	Radyo Sinyali Düzenleme ve Teknik Yönetim
802.19	Kablosuz Koekzistans
802.20	Hareketli Geniş Bant Kablosuz Erişim
802.22	Kablosuz Bölgesel Alan Ağları

### 2.2. Kablosuz Ağ Türleri

Kablosuz ağlar, Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi kapsama alanlarına göre dört gruba ayrılmaktadır. Ancak kablosuz ağların etkili menzili, hava şartları ve bağlantı girişimlerinin sayısı gibi dış etmenlere göre değişebildiğinden net bir ayırım yapmak çok sağlıklı olmayabilir [15].

Çizelge 2.2. Kablosuz ağ türleri

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Standart	Bluetooth HomeRF	802.11 HiperLAN	IEEE 802.16 HiperMAN	GSM, GPRS, CDMA ve 3G
Hız	< 1 Mbps	11-54 Mbps	11-100 Mbps	10-384 Kbps
Mesafe	Kısa	Orta	Orta-Uzun	Uzun
Uygulama	Cihazlar arası bağlantı Piconet	Cihazdan cihaza ağ kurulumu	Kablo yerine son kullanıcı erişimi	Mobil Telefon Mobil Veri

### 2.2.1. Kablosuz kişisel alan ağı (WPAN)

Kablosuz Kişisel Alan Ağı (WPAN - Wireless Personal Area Network), kısa mesafe içerisinde bulunan cihazların birbirleriyle haberleşmeleri için kullanılır. Klavye, fare, kulaklık gibi donanımlar için kullanılabilen gibi yaygın olarak cep telefonları arasında ya da cep telefonu ile bilgisayarlar arasında kullanılabilir. Veri iletim hızı 1 Mbps ve veri iletim menzili 10 metredir. Kablosuz Kişisel Alan Ağlarının hız ve menzili diğer ağ çeşitleri arasında en düşük olanıdır. Bluetooth, IrDA (Infrared Data Association), ZigBee ve HomeRF (Home Radio Frequency) teknolojileri kablosuz kişisel alan ağlarına örnek teşkil etmektedir [16].

### 2.2.2. Kablosuz metropol alan ağı (WMAN)

Kablosuz metropol alan ağı (WMAN - Wireless Metropolitan Area Network), farklı yerlerde yerleşimi bulunan şirketler ve üniversiteler gibi kuruluşlarda ya da kırsal bölgelerde kullanılabilen ve iletim ortamı olarak radyo frekansı (RF - Radio frequency) kullanan ağ yapısıdır. WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access - Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik) olarak isimlendirilen IEEE 802.16 standardını kullanır [16].

### 2.2.3. Kablosuz geniş alan ağı (WWAN)

Kablosuz geniş alan ağı (WWAN - Wireless Wide Area Network), ülke içi ya da uluslararası gibi geniş alanlarda kablosuz iletişimi sağlayan ağlardır. Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM - Global System for Mobile Communications) veya Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA - Code Division Multiple Access) teknolojilerini kullanan cep telefonu şebekeleri, farklı şehirlerdeki şubeler arası veri değişimi ihtiyaçları gibi durumlarda kullanılabilir. Kablosuz geniş alan ağlarında taşınan trafiğin büyük bir bölümü ses trafiği iken günümüzde veri trafiği ve internet erişimi oldukça artış göstermiştir [16].

### 2.2.4. Kablosuz yerel alan ağı (WLAN)

Kablosuz yerel alan ağları (WLAN - Wireless Local Area Network), bina ve kampüs gibi alanlarda hizmet göstermektedir. Elektromanyetik dalgaları kullanılan RF ve çıplak gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları kullanan kızılötesi teknolojileri kablosuz yerel alan ağlarında veri iletiminde kullanılabilen teknolojilerdir. Bu teknolojilerin her birinin kendine özgü özellikleri olup ihtiyaca göre hangisinin kullanılması gerektiğine karar verilir. Çoklu ortam uygulamalarının kullanımının gün geçtikçe artması sebebiyle yüksek veri hızını destekleyen teknolojilerin kullanımı ihtiyacı da buna paralel olarak artmıştır. Yüksek veri aktarım hızı ve fiziksel engelleri aşabilme kabiliyeti sebebiyle çoklu ortam uygulamalarında RF teknolojisi tercih edilmektedir [17].

Kablosuz yerel alan ağları 802.11 standartlarını kullanmaktadır. Bu standart IEEE tarafından 1997 yılında yayınlanmıştır. Mevcut ağları daha da genişletmek (25-100 metre) için bu ağ türünden faydalanılabilir. IEEE 802.11x ve HiperLAN (High performance radio local area network) kablosuz yerel alan ağı teknolojilerindedir. Kablosuz yerel alan ağları birçok ülkede Wi-Fi (Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlantı) olarak isimlendirilmektedir.

#### Kablosuz yerel alan ağlarının avantajları

Kablosuz ağlar, kablolu ağların tüm imkân ve kabiliyetlerini yerine getirebildiği gibi daha birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Kablosuz yerel ağlarının kullanılması oldukça yaygın bir biçimde tercih edilmesinin sebeplerini aşağıda ki gibi sıralayabiliriz;



- Maliyetleri azaltması,
- Hızlı ve kolay kurulması,
- Kullanıcılara dolaşım özgürlüğü sağlaması,
- Veri iletim hızının kablolu iletme yakın olması,
- İstenilen noktalarda kablolu iletişime izin vermesi,
- Yeni kullanıcıların katılması için ilave bir iş yükü getirmemesi.

Kablosuz ağlarda, kablo ve kablolama işçilik ücreti olmadığından maliyet çok daha düşüktür. Kablosuz ağ kurulumu için gereken cihazlar ise giderek ucuzlamaktadır. Kablolu ağlarda sisteme yeni bir bilgisayar katılacağı zaman öncelikle kablolama alt yapısı krokilerine bakılarak bir planlama yapılır ve yeni bir hat çekilir. Daha sonra bu krokiler güncellenir. Kablosuz ağlarda ise sisteme yeni bir bilgisayar katılımı için ilave bir iş yüküne gerek yoktur. Bu sebeple hızlı ve kolay bir biçimde kurulum yapılabilir. Kablosuz ağlar, hizmet verdiği cihazlara ağ kapsama alanı içerisinde serbestçe dolaşım imkânı sağlamaktadırlar. Yeni bir erişim noktası eklendiğinde kullanıcılar genişlemiş olan bu kapsama alanından kolaylıkla faydalanabilmektedir. Bina, kampüs ya da iş yerinin yer değiştirmesi durumlarında kablo altyapısının taşınması oldukça zahmetli iken kablosuz ağlarda bu tarz taşınma işlemleri daha pratik bir şekilde yapılabilir.

Son yıllarda gelişen teknolojilerle kablosuz ağların hızlarının artması sonucu kablolu ağlara karşı güçlü bir alternatif haline gelmiştir. Ancak çoklu ortam uygulamalarının kullanımının yaygınlaşması sonucu ortaya çıkan yüksek veri hızı ihtiyacı sebebiyle teknolojiler arasındaki rekabette veri hızı en önemli ölçüt haline gelmiştir. Kablosuz ağlar lisanssız olan ve her türlü sinyalin rahatlıkla ulaşabileceği bir frekans aralığında kullanıldığından sinyal çakışmaları sebebiyle ağ performansı olumsuz yönde etkilenebilmektedir.

Kablosuz yerel alan ağları, Erişim Noktası (AP - Access Point) ve kablosuz cihaz olmak üzere iki ana elemandan oluşmaktadır. Ancak iki cihaz arasında direk bağlantı kurulması (peer to peer) için erişim noktasına gerek duyulmaz [13].

### Kablosuz yerel alan ağlarının dezavantajları

Kablosuz ağların ilk yıllarında yaşanan; standartların henüz belirlenmemiş olması, frekans tahsislerinin netleşmemiş olması ve ürün çeşitliliğinin azlığı gibi problemler çözümlenmiştir. Günümüzde kablosuz yerel alan ağlarında karşılaşılan en büyük problem performans problemidir. Dağ, bina ve duvar benzeri engellerin RF dalgalarını zayıflatması sonucu veri iletiminde düzensizlikler ve kopmalar yaşanabilmektedir. Bu düzensizliği ortadan kaldırmak için performansı etkileyen etmenlerin bilinmesi gerekmektedir. Ağ performansını etkileyen temel unsurlar aşağıda ki maddelerde toplayabiliriz [13];

- Düğümler ile erişim noktası arasındaki mesafe (mesafe arttıkça performans düşer),
- İletim gücü düzeyi,
- Alıcının duyarlılık seviyesi (Receiver Sensitivity),
- Dağ, tepe, bina, duvar gibi engeller,
- RF dalgalarının karışarak birbirlerini engellemeleri.

Yukarıda sayılan bu temel unsurlar doğrudan ağ performansını etkilemektedir. Dolayısıyla verimli bir kablosuz ağ kurabilmek için yüksek ağ performansı elde etmenin en temel adımları olan bu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Bina, dağ, tepe ya da hareket halindeki araçlar gibi fiziksel engellerin fazla olması ve çıkış gücünün kısıtlı olması sebebiyle iletişim mesafesinin kısılması önemli bir dezavantajdır. Bu sebeple kablosuz yerel ağ kurulumunda erişim noktası ihtiyacı karşılayacak en doğru yere kurulmalıdır. Kablosuz yerel alan ağını oluşturan cihazların hareketli olması sebebiyle batarya problemi yaşamaması da bir dezavantaj olarak karşımıza çıkar. Gelişen teknolojilerle birlikte bu sorunun da çözüleceği düşünülmektedir. Kablosuz yerel alan ağlarının birbirlerini olumsuz etkilemeleri, bölgeye bağlı olarak farklı sinyallerin karışması ya da gürültü sonucu oluşan girişim (enterferans) bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Kablosuz yerel alan ağlarında diğer bir önemli problem güvenlidir. İletilen veri paketlerinin yüksek düzeyde şifrelenmesi ve alıcıda çözülmesi de performansı son derece düşürmektedir. Ancak ağ ihtiyaçları doğru bir şekilde analiz edildikten sonra, gizlilik, doğrulama ve veri bütünlüğü gibi güvenlik konuları üzerinde titizlikle durularak güvenlik

ayarları yapıldığı takdirde, kablosuz ağlarda kablolu ağlara eşit seviyede güvenlik elde edilebilir ve güvenlik problemi kaygısı ortadan kalkar [15].

### 2.3. Kablosuz Ağların Temel Bileşenleri

Kablosuz yerel alan ağlarında kullanım alanlarına göre birçok cihaz mevcuttur. Ancak temel olarak bulunan ağ bileşenleri;

- Kablosuz İstemci (Wireless Client)
  - Kablosuz Erişim Noktası ( WAP - Wireless Access Point)
- olarak sınıflandırılabilir [13].

Kablosuz ağlarda erişim noktası dışındaki düğümlere kablosuz istemci ya da istasyon denilmektedir. Bu istemciler sabit olabildiği gibi hareket halinde de olabilirler. Kablosuz istemcilere, dizüstü bilgisayar, tablet ve cep telefonu gibi aygıtlar örnek olarak gösterilebilir.

Kablosuz Erişim Noktası, kablolu bir ağa erişim sağlayabileceği gibi kablosuz düğümler arasında veri alışverişinin merkezini de oluşturabilir. Kablosuz yerel alan ağlarında kendi sorumluluk sahasındaki bütün trafiği yöneten aygıtlardır. İstemci düğümlerin sayısı arttıkça ağın performansı düşer. Bu sebeple ağa erişim noktası eklemek hem cihaz başına düşen istemci sayısını azaltarak performansa olumlu katkıda bulunurken hem de kapsama alanını genişletir. Erişim noktaları, OSI (Open Systems Interconnection) modelinin ikinci katmanı olan veri bağı katmanında (Data Link Layer) çalışır.

Mevcut erişim noktasını diğerlerinden ayıran Hizmet Seti Kimliği (SSID - Service Set Identifier), erişim noktasının kimliğini gösteren isimdir. Erişim noktaları bu SSID kimliklerini yayınlayarak kablosuz istemcilerin kendilerini tanımalarına olanak sağlarlar [13].

### 2.4. Kablosuz Yerel Alan Ağları Yapıları

Kablosuz yerel alan ağlarında tasarsız ağ yapısı (Peer-to peer, Ad-Hoc) ve tasarlı ağ yapısı (Infrastructure, Client/Server) olmak üzere 2 tür ağ mimarisi mevcuttur. 802.11 standartları her iki ağ yapısını da destekleyecek biçimde tasarlanmıştır.

### 2.4.1. Tasarsız ağ yapısı (Ad Hoc)

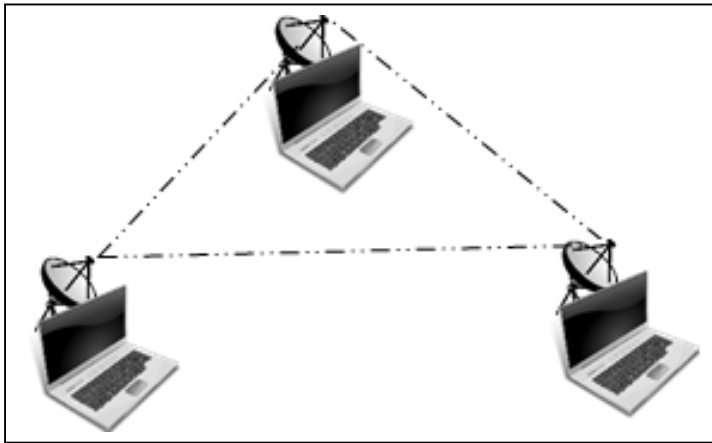
İki ya da daha fazla düğüm arada erişim noktası veya sunucu gibi herhangi bir donanım olmadan birbirine bağlanır. Kablosuz ağ kartı olan her bir düğüm doğrudan diğer bir kablosuz düğümle haberleşebilir. Bu şekilde istenen veri, dosya ve program gibi bütün kaynaklar diğer düğümlerle paylaşılabilir. Ağ kurulumu için herhangi bir kablo bağlantısına gerek yoktur bu sebeple internet gibi herhangi bir ağa bağlı olamaz. Bu yapı en basit ağ yapısıdır. Bu tür ağlar aynı zamanda Bağımsız Temel Hizmet Takımı (IBSS-Independent Basic Service Set) olarak adlandırılmaktadır. Bu yapıda az sayıda düğüm için performans yüksekken, ağ bulunan cihazların sayısı ve hareketliliği arttıkça performanstan ziyade ağdaki veri iletiminin devamlılığı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca merkezi bir erişim noktasının bulunmaması kontrolleri kısıtlayacağından güvenlik zafiyeti daha sık görülebilir.

Tasarsız ağ yapısı;

- Mobil tasarsız kablosuz ağlar,
- Kablosuz duyarga ağları,
- Kablosuz örgü ağları

gibi ağ türlerine ayrılır.

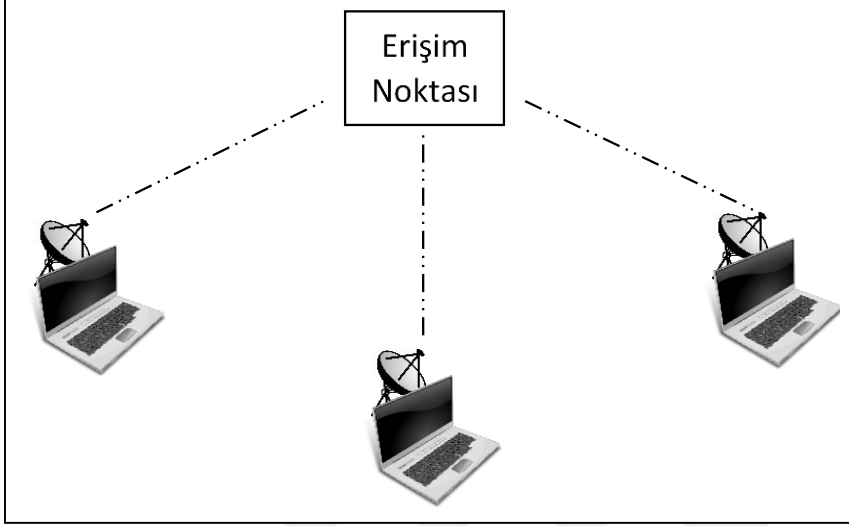
Mobil tasarsız kablosuz ağlar, hareketli düğümlerden oluşan ağlardır ve askeri amaçlı kullanılır. Kablosuz duyarga ağları, ses, basınç ve sıcaklık gibi verileri toplamak amacıyla algılayıcılar vasıtasıyla kurulan ağ türüdür. Kablosuz örgü ağları, geniş bölgelerde veri erişimini sağlamak amacıyla kurulan ağlardır. Tasarsız ağ yapısında tüm düğümler aynı seviyede olup öncelik hakları eşittir [18]. Tasarsız ağ yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tasarsız (Ad-Hoc) ağ yapısı

#### 2.4.2. Tasarlı ağ yapısı (Infrastructure, Client/Server)

Erişim noktalı altyapı, kablosuz yerel alan ağlarının en yaygın kullanılan ağ yapısıdır. Bir adet erişim noktası ve istenildiği kadar kablosuz düğümden meydana gelir.

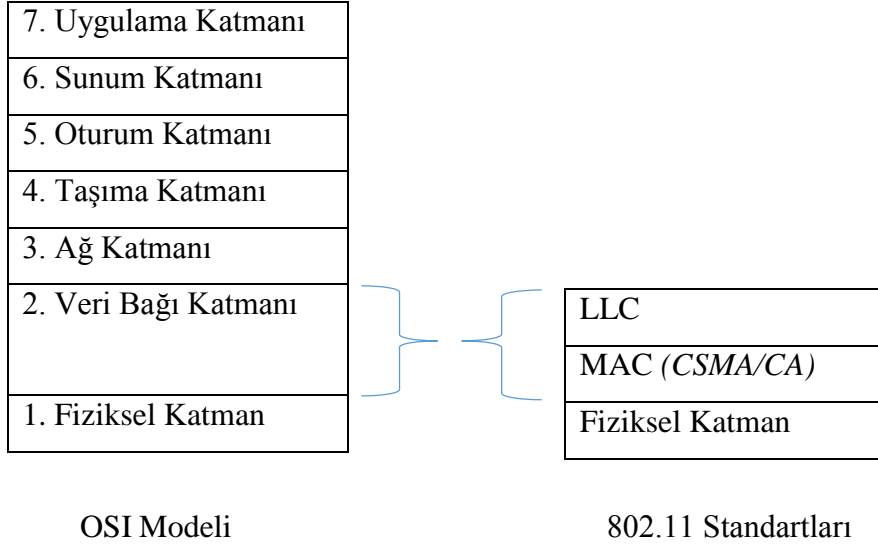


Şekil 2.2. Tasarlı (Infrastructure) ağ yapısı

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bütün cihazlar merkezi bir erişim noktası üzerinden haberleşirler. Tasarlı ağ yapısında ağ türünün genişlemesi kolay bir şekilde ağa istemci katılmasıyla olabilir. Ayrıca gerekiyorsa kullanıcı sayısı ve veri iletim hızı isteğine göre ağa yeni erişim noktaları da ilave edilebilir. Bir tane erişim noktası olan ağlar Temel Servis Seti (BSS - Basic Service Set), birden fazla erişim noktası olan ağlar ise Genişletilmiş Servis Seti (ESS - Extended Service Set) olarak adlandırılmaktadır. Kablosuz ağlar genellikle tasarlı (infrastructure) ağ mimarisi ile çalışırlar [18].

#### 2.5. Kablosuz Yerel Alan Ağı Katmanları

OSI modelinde üst katman protokolleri ağ mimarisinden bağımsızdır ve WAN, MAN ve LAN’larda uygulanabilir. Kablosuz yerel alan ağlarında bulunan protokoller ilk iki katmanla ilgili olup fiziksel katman ve veri bağı katmanı birlikte çalışmaktadır.



Şekil 2.3. OSI modeline göre IEEE 802.11 katmanları

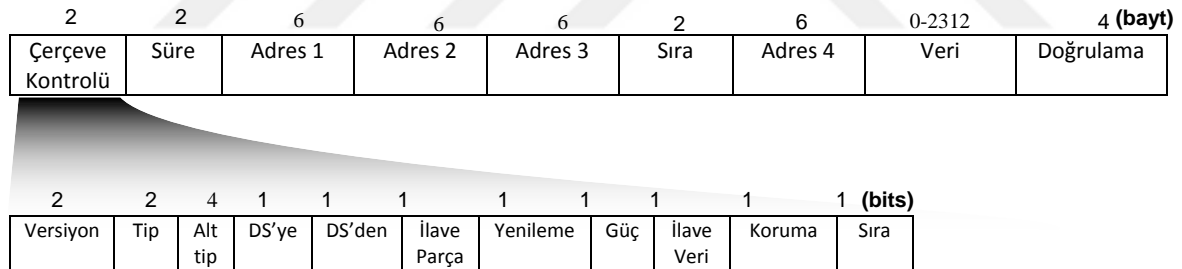
Şekil 2.3’de görüldüğü üzere IEEE 802.11 standartlarında ilk katman olarak gösterilen Fiziksel Katman, OSI Modelinin ilk katmanı olarak gösterilen Fiziksel Katmana karşılık gelmekte ve iletim ortamı ve mimari ile ilgili tanımlamaları kapsamaktadır. OSI Modelinde Fiziksel Katmandan sonra gelen katman olan Veri Bağı (Data-Link) katmanı, IEEE 802.11 Modelinde kullanıcılara servis sağlamaya ilgili işlevleri yerine getirmek üzere Mantıksal Bağ Kontrol (LLC - Logical Link Control) Katmanı ve Ortama Erişim Kontrol (MAC - Medium Access Control) katmanı olarak 2 alt katmana ayrılmıştır [16].

Fiziksel katman ve veri bağı katmanı seviyelerinde, kablosuz ile kablolu ağ standartları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Kablosuz ağlarda iletim ortamı kablo içermediğinden, fiziksel katman kablosuz iletişim standartlarını ve modülasyon teknikleri gibi erişim detaylarını içermektedir. Fiziksel katmanda, Frekans Atlamalı Spektrum Yayma (FHSS- Frequency Hopping Spread Spectrum), Doğrudan Sıralı Spektrum Yayma (DSSS- Direct Sequence Spread Spectrum), Dikey Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Yüksek Oranlı Doğrudan Sıralı Spektrum Yayma (HR-DSSS- High Rate Direct Sequence Spread Spectrum) olmak üzere dört ayrı iletim tekniği mevcuttur. Bu iletim teknikleri radyo frekanslarını kullanmaktadır. Dört iletim tekniği de MAC çerçevesini bir düğümden diğerine göndermeyi sağlamaktadır. İletim teknikleri veri hızları ve kullanılan teknolojiler bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir [16].

MAC alt katmanı, veriyi gönderebilmek amacıyla iletim ortamının paylaşılmasını yani haberleşme kanalının hangi düğüm tarafından kullanılacağını belirler. Dolayısıyla veri iletiminin kimin tarafından yapılacağını belirler. Veriyi gönderi ve alıcı adresleri, hata kontrol kodu gibi alanlarla birlikte MAC çerçevesini oluşturarak fiziksel katmana iletir. Alıcı düğümde de bu işlemleri tersine uygulayarak veriyi ikinci katman olan LLC alt katmanına aktarır. LLC alt katmanı ise farklı protokoller arasındaki değişiklikleri ağ katmanına belli etmeme görevini üstlenir. Bu şekilde farklı yapıdaki düğümler iletişime geçebilir [16].

### 2.5.1. 802.11 MAC protokolü çerçeve yapısı

Kablosuz düğümler arasında bulunan iletim ortamının birçok düğüm tarafından ortak kullanılmasından kaynaklı olarak verilerin çarpışması ihtimali mevcuttur. IEEE 802.11 MAC protokolünün temel amacı, kanal erişimini belirli kurallara göre düzenleyerek ağdaki düğümler tarafından adaletli olarak kullanılmasını sağlamak ve kanal kullanımını en yüksek seviyede tutmaktır [19].



Şekil 2.4. IEEE 802.11 MAC çerçeve yapısı

IEEE 802.11 MAC veri çerçevesi yapısı Şekil 2.4'de gösterilen alanlardan oluşmaktadır. İlk alan olan çerçeve kontrol alanı 11 adet alt alandan meydana gelmektedir [16].

Versiyon alt alanı, 802.11 MAC versiyonunu göstermektedir. Çerçeve kontrol alanının alt alanlarından olan tip ve alt tip bölümleri en önemli alanlardır. Bu alanlar çerçevenin türünü belirler. Çerçevenin yönetim (beacon, probe vb.), veri ya da kontrol (RTS, CTS ya da ACK) çerçevelerinden hangisi olduğu belirlenerek karmaşa önlenmiş olur. Dağıtım sistemine (To DS – To Distributed System) ve Dağıtım sisteminden (From DS – From Distributed System) alt alanları çerçevenin dağıtım sistemlerine yöneltilip yöneltilmeyeceğini belirtir. İlave parça (MF - More Fragments) alt alanı, veri paketi

parçalandığında parçaların devamı varsa 1, yoksa 0 yapılır. Yenileme alt alanı, iletilen çerçevenin bir önceki çerçevenin tekrarı olup olmadığını belirler. Güç alt alanı, güç yönetimi ile ilgili kontrolleri yapar. İlave veri (MD - More Data) alt alanı, düğümün gönderecek ilave verisi olup olmadığını gösterir. Koruma alt alanı, gizlilik protokolünün kullanılıp kullanılmadığını gösterir. Sıra alt alanı biti, çerçeve ve parçaların sıralı olarak işleme alınmasını sağlamak için 1 yapılır [16].

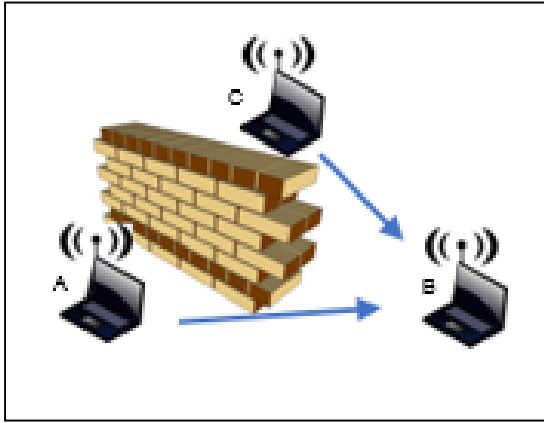
Süre alanı, MAC çerçeve yapısının ikinci alanıdır ve çerçevenin kanalı ne kadar süre ile kullanılacağını gösterir. Kontrol çerçevelerinde de bulunan bu alan diğer düğümlerin kendi ağ tahsis vektörü (NAV - Network Allocation Vector) mekanizmalarını düzenlemelerinde etkilidir. MAC çerçeve yapısında 4 adet adres alanı mevcuttur. Bunlardan adres 1 (kaynak adresi), çerçeveyi oluşturan düğümün adresi iken adres 2 (hedef adres), çerçevenin en son ulaşacağı düğümün adresidir. Adres 3 ve 4 (iletici adresleri), kaynak ve hedef adreslerle aynı olabileceği gibi düğümler arası çerçeveyi aktaran erişim noktası adreslerini belirtir. MAC çerçeve yapısında sıra alanı bölümü 2 bayt olup, çerçeve iletiminde parçaların numaralandırılması amacıyla kullanılır. 12 bit çerçevenin sıra numarasının tanımlanmasında kullanılırken 4 bit parça numarası alanı için kullanılmaktadır. Çerçeveleri ayırmada ve birleştirmede kullanılmaktadır. Veri alanı bölümü, 0 ile 2312 bayt arasında veri içerebilir. Ardından gelen doğrulama alanı, Döngüsel Atıklık Denetiminden (CRC - Cyclic Redundancy Check )'den faydalanarak çerçevenin doğruluğunu kontrol eder [16].

## **2.6. Gizli Düğüm Problemi**

Kablosuz iletişimin yapısı itibariyle gerçekleştirilen yayınlar her yöne gönderilmektedir. Bunun bir sonucu olarak, aynı hedef düğüme doğru engel gerisindeki ya da kendi kapsama alanı dışında kalan diğer düğümlerin girişimlerinden dolayı iletişim bozulmalara uğrayabilmektedir. Gizli düğüm problemi (GDP); kablosuz ağlarda kapsama alanı sebebiyle oluşan bir sorun olup istasyonların bilgilendirilmesindeki eksikliklerden kaynaklanır [20]. Kablosuz ağlara özel bir durumdur ve diğer ağ türlerinde görülmez.

Gizli düğüm problemi, kablosuz ortamlarda bir engel sebebiyle ya da kapsama alanından dolayı birbirlerini göremedikleri halde ortak bir düğümlerle haberleşmeye çalışmaları sonucu çarpışmaya sebep olunan bir durumdur. İki düğüm farkında olmadan birbirlerinin haberleşmelerini bozar.





Şekil 2.5. Gizli düğüm problemi

Alıcı durumunda olan bir kablosuz düğümüne, birden fazla düğüm tarafından veri gönderme girişimi ilave problemler ortaya çıkarmaktadır. Şekil 2.5’de gizli düğüm problemi gösterilmiştir. 3 düğüm arasındaki iletimde, A ve C gönderici, B alıcıdır. B, A ve C’nin kapsama alanındadır. Fakat A ile C aralarındaki engel ya da kapsama alanı gibi sebeplerle birbirini göremez. Birbirlerini görememelerinin bir sonucu olarak B’ye veri gönderme girişimlerinden karşılıklı habersizdirler. B düğümüne veri göndermek amacıyla A ve C düğümleri birbirlerinden habersiz olarak kanalı dinlerler. A ve C birbirlerinin kapsama alanı dışında olduğundan aynı anda kanalı müsait olarak algılayabilirler ve böylece aynı anda veri iletimine başlarlar. Aynı anda gönderilen veri paketleri çarpışma sebeptir. Bu çarpışma sonucunda paket kayıp oranlarının yükselmesi, yeniden iletim girişiminin artması ve birim zamanda işlenen paket miktarının düşmesi meydana gelmektedir. CSMA/CA ağ bağlantı protokolünün bir metodu olan Dağıtık Koordinasyon Fonksiyonu (DCF - Distributed Coordination Function), RTS/CTS mekanizmasından faydalanarak gizli düğüm problemini çözmede yardımcı olmaktadır [21].



### 3. TAŞIMA ALGILAMALI ÇOKLU ERİŞİM VE ÇARPIŞMADAN KAÇINMA

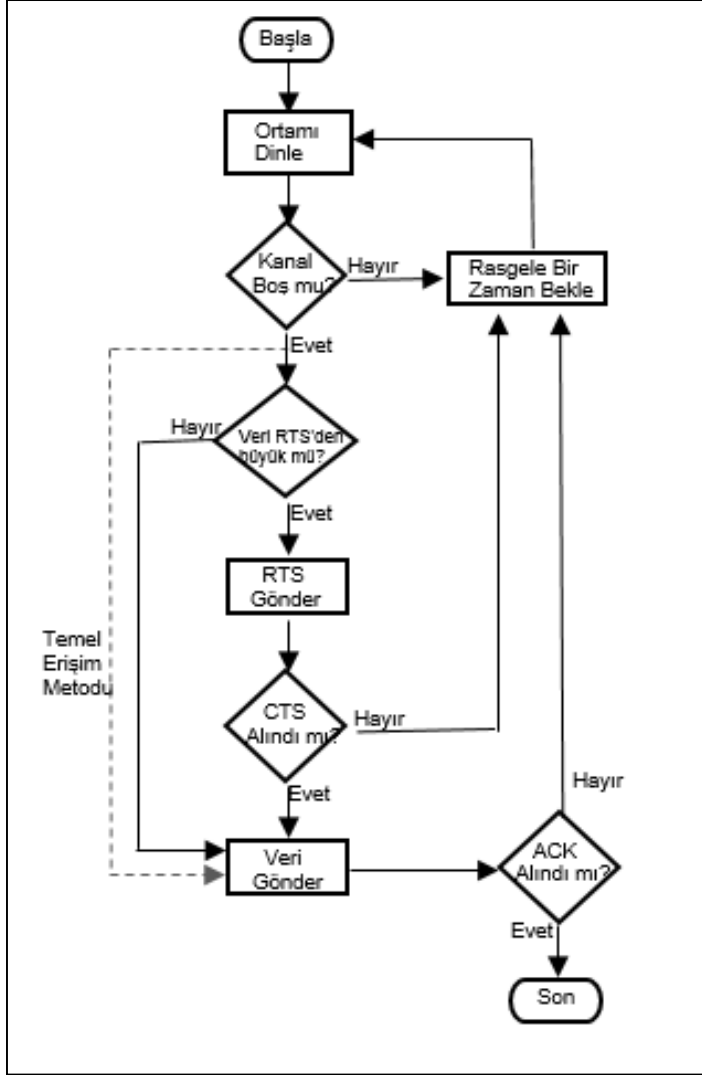
Kablolu ağlarda kullanılan Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim/Çarpışma Algılama (CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) protokolü yerine kablosuz ağlarda Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim/Çarpışmadan Kaçınma (CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ağ bağlantı protokolü kullanılır. CSMA/CA, kablosuz ağlarda ortama erişimi sağlayan ve çarpışmaları minimize etmeye yarayan bir ağ bağlantı protokolüdür. Birden fazla düğümün aynı iletim ortamını kullanması durumunu düzenler. Ağda ki bütün düğümler aynı frekansta iletim gerçekleştirirler. Veri çerçevesi çarpışmalarını önlemek amacıyla gönderimden önce kanalı dinler ve ortamda başka iletim yapan yoksa veri iletimi başlatılmaktadır. Yani veri iletimine başlamadan önce ortamı dinleme prensibine dayanır. Bu sayede birden fazla düğümün aynı zaman diliminde veri iletmek istemesi sebebiyle meydana gelen çarpışmaları en aza indirir. Ağa yeni düğümler katıldıkça iletim ortamını elde etmek amacıyla çekişme artar [22].

Taşıyıcı dalga, bilgi taşınmasına olanak sağlayan bir sinyal olarak kullanılmaktadır. Veri çerçevesini göndermeden önce gönderici düğüm, taşıyıcı dalga sinyalini dinleme işlemini gerçekleştirir. Bu şekilde hattın başka bir düğüm tarafından kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilmiş olur. Başka bir gönderim var ise beklenir [23].

IEEE 802.11 standartları, kablosuz yerel alan ağlarında ki veri iletim ortamı ve iletim yöntemlerini tanımlamıştır. 802.11 standartlarını kullanan cihazlar CSMA/CA metodunu kullanırlar. CSMA/CA protokolü, veri bağı katmanının altında yer alan 2 katmandan biri olan MAC alt katmanında çalışır. Modülasyon tekniklerinden DSSS, FHSS, OFDM ve HR-DSSS fiziksel katmanla ilgiliyken, iletim ile ilgili bölümler veri bağı katmanında gerçekleşir [24].

IEEE 802.11 standartlarında CSMA/CA yönteminde; Şekil 3.1'de ki akış diyagramında görüldüğü gibi temel erişim metodu ve dört çerçeveli erişim metodu olmak üzere iki çeşit veri aktarım metodu mevcuttur. Temel erişim metodunda, gönderici düğüm kanalı dinler ve kanal boş olduğunda alıcı ile başka bir iletişim kurmadan doğrudan veri çerçevesini

gönderir. Dört çerçevesi erişim metodunda, aynı şekilde gönderici düğüm tarafından kanal dinlenir ve kanalın boş olduğu tespit edilir. Daha sonra temel erişim metodundan farklı olarak, gönderilecek veri çerçevesi RTS eşik değerinden büyük ise RTS çerçevesi gönderilmekte değilse temel erişim metodunda olduğu gibi doğrudan veri çerçevesi gönderilmektedir [2].



Şekil 3.1. CSMA/CA erişim metotları [2]

Kablosuz ağlarda kullanılan MAC mekanizması, CSMA/CA metodunu kullanır. IEEE 802.11 DCF, CSMA/CA metodunun kullanıldığı kanal erişim yöntemidir [19]. DCF ortam erişimi için 802.11 MAC protokolünün temel erişim yöntemi olan CSMA/CA protokolünü kullanır. Kablosuz ağlara bağlanan istemci sayısı ve konumları sıkça değişebilmektedir. Bu belirsiz ortamda veri çerçeveleri iletiminde problemler yaşanabilir ve çakışmalar ortaya çıkabilir. Çakışmalar ağın performansını düşürür. IEEE 802.11 DCF protokolü, bir el

sıkışma yöntemi (RTS/CTS) ile bu probleme çözüm sunmaktadır. IEEE 802.11 DCF protokolünde RTS ve CTS paketlerinin karşılıklı iletimi sağlıklı bir haberleşme için standart bir uygulamadır.

DCF, CSMA/CA tabanlı bir protokoldür ve kablosuz yerel alan ağlarında, MAC katmanında düğümler arası veri transferinde ortama erişmek amacıyla kullanılır. Çalışma mantığı; veri iletimi yapmadan önce ortamı dinle prensibine dayanmaktadır. Kanala erişmek isteyen düğüm hattı dinler. Bu protokolün CSMA kısmıdır. Verilerin iletiildiği alanın kullanımını belirlemek amacıyla Taşıyıcı Sezme (CS - Carrier Sense) kullanılırken, veri paketi göndermek isteyen düğümlerin aynı iletim ortamına farklı zamanlarda erişmelerini sağlamak amacıyla Çarpışmadan Kaçınma (CA - Collision Avoidance) kullanılmaktadır. Düğümlerin farklı zamanlarda veri iletim ortamına erişmelerini sağlamak amacıyla Random Backoff denilen ve rasgele bir zaman bekledikten sonra tekrar veri gönderimine başlanılmasını sağlayan bir algoritma kullanılır. Bu bekleme zamanı belirlenirken çerçeveler arasında ki zamanın (Slot Time) rasgele bir katı seçilir.

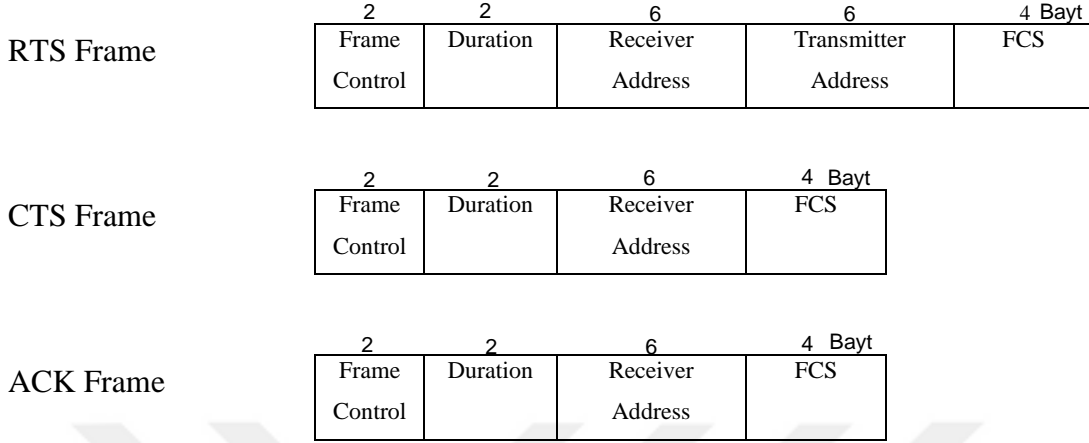
Düğümler veri iletim ortamını kullanabilmek amacıyla birbirleriyle çekişme içerisindedirler. İletim ortamını, elde eden düğüm veri çerçevesi yollamakta elde edemeyen düğümler ise gönderimi ertelemektedir. Ertelen veri çerçevesi gönderildiğinde düğüm backoff zamanını sıfır ('0') olarak düzeltmektedir.

IEEE 802.11 DCF fonksiyonunda ortam öncelikle Dağıtılmış Dahili Çerçeve Mesafesi (DIFS - Distributed inter-frame space) süresince dinlenir. İletim kanalı boş ise veri iletimi başlatılır. Ancak veri iletim kanalı meşgul ise Random Backoff algoritması kullanılarak 0 ile Çekişme Penceresi (CW - Contention Window) arasında bir sayı seçilerek veri iletimi ertelenir [25]. DCF, gizli düğüm problemini engellemek amacıyla RTS/CTS mekanizmasını kullanmaktadır.

### **3.1. RTS/CTS Mekanizması (Request to Send/ Clear to Send Mechanism)**

IEEE 802.11 DCF yapısında veri transferi için RTS/CTS mekanizması kullanılmaktadır. DCF, MAC katmanında düğümler arası veri transferinde servis kalitesi garantisinin olmadığı ve önceliklendirme yapmadan verilerin iletiildiği CSMA/CA yöntemini kullanan

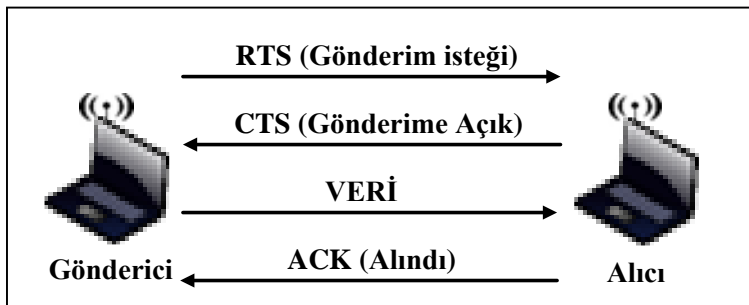
bir kontrol fonksiyonudur [26]. IEEE 802.11 DCF çerçeve yapısında bulunan RTS, CTS ve ACK (Acknowledgement) çerçeve formatları Şekil 3.2’de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.2. IEEE802.11 DCF çerçeve yapıları

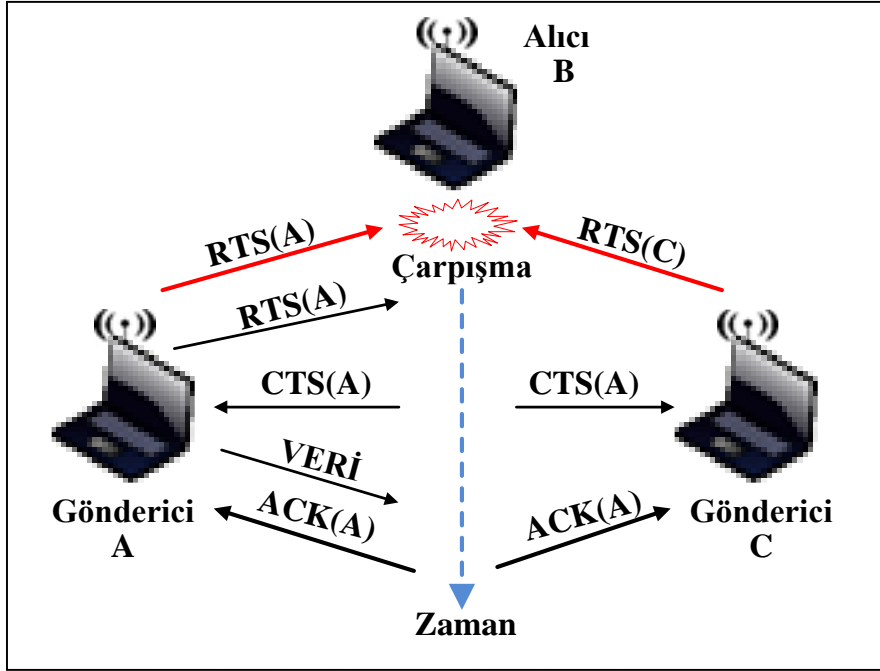
802.11 MAC alt katman protokolünde çerçeve türleri 3 çeşittir. Bunlar yönetim, veri ve kontrol çerçeveleridir. Çerçevenin tipini belirleyen MAC çerçevesindeki “Frame Control” alanının “Type” alt alanıdır. Yönetim çerçeveleri, bir adres alanının eksik olması dışında veri çerçevelerine benzemektedir. Kontrol çerçeveleri ise iki adres alanı, sıra ve veri alanı olmadığından diğer çerçevelere göre daha kısadır. Kontrol çerçevelerinden olan RTS çerçevesinin boyutu 20 bayt, CTS çerçevesinin boyutu 14 bayt ve ACK çerçevesinin boyutu 14 bayt uzunluğundadır [27].

Gizli düğüm problemini çözmeye etkili olan RTS/CTS mekanizması isteğe bağlı bir özelliktir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, gönderilecek olan veri çerçevesinin boyutu RTS eşik değerinden daha büyük olması durumunda ilk olarak RTS çerçevesi gönderilir ve CTS çerçevesinin gelmesi beklenir. CTS çerçevesinin gelmesinin ardından veri çerçevesi gönderilir. ACK çerçevesinin alınmasıyla veri çerçevesinin ulaştığı teyit edilmiş olur.



Şekil 3.3. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodu

RTS/CTS mekanizması kullanıldığında, birden fazla gönderici düğüm tarafından aynı anda gönderilmek istenen veri çerçevelerinin çarpışması engellenir ve bu sebeple ağ gecikmeleri azalır. Veri çerçevelerinden daha küçük olan RTS çerçevelerinin çarpışma olasılıkları çok daha düşüktür.

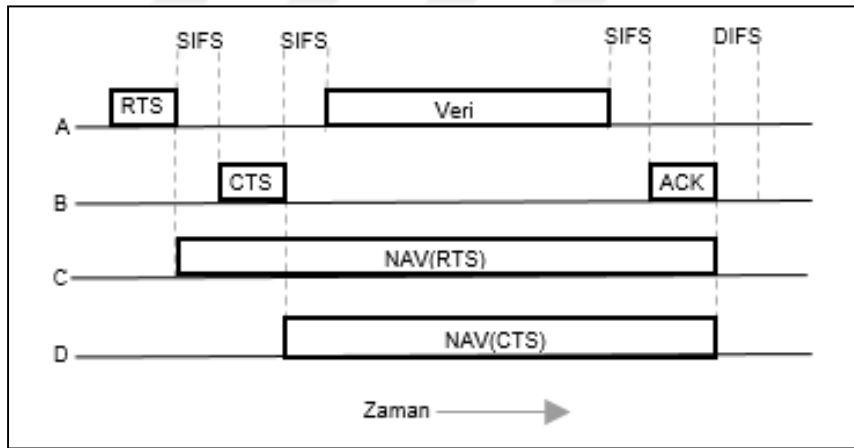


Şekil 3.4. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodunda çarpışma

Şekil 3.4’de A ve C düğümlerinin birbirlerine karşı gizli düğüm olarak aynı anda ilettime başlaması durumu gösterilmiştir. İki düğüm aynı anda ilettime başlarsa RTS çerçeveleri çarpışabilir, böyle bir durumla karşılaşıldığında gönderici düğümler (A ve C) rasgele bir zaman sonra RTS çerçevelerini tekrar yollarlar. RTS/CTS mekanizması dolaylı olarak gizli düğümün görülmesini sağlar.

Gizli düğüm problemi varlığında, kontrol çerçevelerinin bekleme sürelerini belirleyen NAV mekanizması Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Dört çerçeveli erişim metodunda A düğümü B’ye veri göndermek istediğinde ilk olarak RTS kontrol çerçevesini yollar. Yollanan bu RTS çerçevesini A düğümünün kapsama alanında olan bütün düğümler alırlar. RTS ve CTS çerçevelerinde iletişimin ne kadar süreceği bilgisi mevcuttur. Kapsama alanında bulunan diğer düğümlerin bu süre içerisinde kanala veri göndermemeleri gerekir. Bu yüzden RTS veya CTS çerçevelerinin herhangi bir tanesini alan düğüm bir veri iletimi olacağını algılayarak bir bekleme zamanı tahsis ederler. Şekil 3.5’de görülen NAV,

bekleme zamanını ifade etmektedir. Alınan sinyalin geldiği yön ve süresi gibi bilgilerin tutulduğu bir tablo olan NAV, kablosuz ortamın hangi yönde ne kadar süre kullanılamayacağını ortaya koyar. NAV mekanizması sayesinde, iletişimin sağlıklı bir şekilde tamamlandığını gösteren ACK sinyali gelene kadar diğer düğümlerin herhangi bir veri alış-verişi girişiminde bulunması engellenmiş olur. A düğümünün kapsama alanı içinde bulunan C düğümü, A'dan B'ye giden RTS çerçevesini almasıyla kendi NAV mekanizmasını kurar ve bu bekleme zamanı süresince herhangi bir veri gönderme girişiminde bulunmaz. B düğümü veri almaya uygun ise gelen RTS çerçevesine karşılık olarak CTS kontrol çerçevesini gönderir. B'nin kapsama alanı içerisinde bulunan diğer bir düğüm olan D düğümü de CTS çerçevesini aldıktan sonra NAV mekanizması ile bir bekleme zamanı belirleyerek o süre içerisinde veri gönderme girişiminde bulunmaz. CTS çerçevesini alan A düğümü, B'nin veri almaya müsait olduğunu anlayarak veri paketini gönderir ve kendisi için ACK zamanlayıcı başlatır. Veri çerçevesi tam ve doğru olarak ulaştığında B düğümü tarafından bir ACK sinyali yollanır. A düğümünün kendisi için başlattığı ACK zamanı B'den gelen ACK sinyalinden önce sonlanırsa veri çerçevesinin iletiminde bir problem olduğu anlaşılır ve bütün iletişim başa dönülerek tekrarlanır [21].



Şekil 3.5. Dört çerçeveli (RTS/CTS) erişim metodunda ağ tahsis vektörü (NAV)



## 4. YÖNTEM VE ARAÇLAR

Benzetim, gerçek bir süreç veya sistemin zamandan tasarruf edilerek ve maliyet etkin bir şekilde belirli bir bölümünün ya da imkânlar dâhilinde tümünün bilgisayar yardımıyla modellenerek taklit edilmesidir. Benzetim deneysel bir metottur. Bu deneyler gerçek sistem yerine benzetim modeli ile yapılmasına rağmen bize gerçeğe yakın sonuçlar sunar. Bahsedilen bu avantajları sebebiyle benzetim araçlarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [28].

Bilişim dünyasında benzetim araçlarının kullanımı, maliyetlerin çok fazla olması, test ya da geliştirme yapılacak olan ağların büyük olması gibi nedenlerle giderek artmaktadır. Benzetim araçlarının daha sık kullanılmasının sebeplerinden biride mevcut bir ağ modellendikten sonra bu yapıyı bozmadan üzerinde istenilen değişikliklerin yapılabilmesidir. Benzetim araçları farklı ağ protokollerini karşılaştırabilmek amacıyla bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır [29].

### 4.1. OPNET

Bu bölümde, çalışmada kullanılmış olan OPNET (Optimized Network Engineering Tool) Modeler benzetim ortamından ve bu benzetim ortamının özelliklerinden bahsedilmiş ayrıca hiyerarşik yapısı da detaylı bir biçimde aktarılmıştır.

Çeşitli amaçlar için kullanılan birçok benzetim aracı mevcuttur. Benzetim aracından beklenen mevcut protokolleri kullanmaya olanak sağlayarak yeni protokollerin geliştirilmesine imkân vermesidir. Ancak yöntem konusunda farklılıklar olabilir. Bazıları doğrudan kodlamaya yönelik geliştirme imkânı sağlarken bazıları bir arayüz vasıtasıyla kullanıcı girdilerini almaktadır. Sunmuş olduğu arayüzler ile kullanıcı ihtiyaçlarına cevap veren bir görsellik sağlar. Bu sayede kullanıcılar istedikleri ağ yapısını kolaylıkla meydana getirebilir ve test edebilirler. Benzetimi gerçekleştirecek olan kişinin yatkın olduğu yöneme ve çalışacağı konuya göre benzetim aracını seçmesi oldukça önemlidir. Birçok alan da kullanılan OPNET'in bir kullanıcı profili Çizelge 4.1'de gösterilmiştir [30].

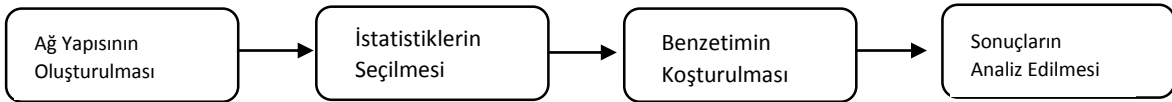
Çizelge 4.1. OPNET kullanıcı profilleri

Kullanıcı Türü	Kullanım Alanı
Servis Sağlayıcılar	Performans ölçümü, ağ planlama ve yönetimi
Donanım Üreticileri	Üretilecek donanımların tasarımı
AR-GE Kuruluşları	Protokol tasarım ve değerlendirmeleri
Yatırımcılar	Ağ yönetimi ve performans optimizasyonu

OPNET nesneye yönelik bir program olup nesnelere karakteristik ve davranışlarına göre sınıflara ayrılmıştır. Kullanıcı yeni sınıf oluşturabilir. Ayrıca başarımları analizleri ayrık olay (discrete-event) metodu ile gerçekleştirilir. Şirketler tarafından ticari ve üniversiteler tarafından eğitim amaçlı olarak kullanılan OPNET Modeler benzetim aracı, literatürde yapılan araştırmalarda birçok akademik makalede uygulama ortamı olarak kullanılmıştır [31-34].

Bu tez çalışmasında, bilgisayar ağları ile ilgili birçok alanda yaygınlıkla kullanılabilmesi ve kablosuz ağlarda test performans analizi yapabilmek için en ideal uygulama ortamı olması sebebiyle OPNET Modeler benzetim aracı kullanılmıştır.

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi OPNET Modeler bir haberleşme ağını modellemek amacıyla ağ yapısının oluşturulması, sonuçları alınmak istenen istatistiklerin seçilmesi, benzetimin koşuturulması ve sonuçların grafikler ile analiz edilmesini sağlar [35]. Oluşturulan bu ağ yapısı daha sonra farklı kriterler ve senaryolar kullanarak karşılaştırma yapılabilmektedir.



Şekil 4.1. OPNET benzetim programı akışı

OPNET Modeler, kütüphanesinin oldukça geniş olması sebebiyle bütün ağ protokollerini ve ağ donanımlarını kullanmaya olanak sağlar. Bu da benzetimi oluştururken oldukça geniş ve esnek bir yapı sağlamaktadır. Ayrıca yerel alan ağları, geniş alan ağları, mobil kablosuz ağlar, uydu ağlar ve yeni protokol tasarımları oluşturmaya da olanak sağladığı için oldukça tercih edilmektedir.

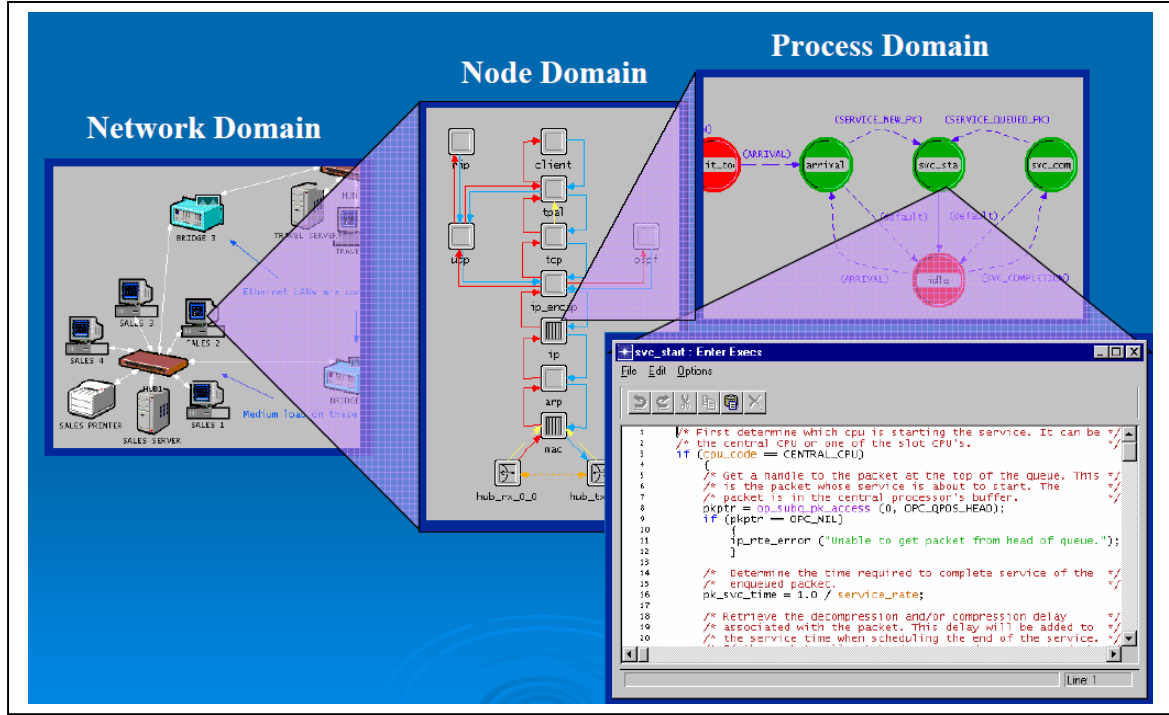
OPNET Modeller'da istatistiki bilgilerin toplanması için belirlenmiş birçok karşılaştırma ölçütü mevcuttur. Bu karşılaştırma ölçütlerinin çıktıları iki farklı yöntemle alınabilmektedir. Her bir düğümün istatistikleri ayrı ayrı yani bireysel olarak alınabileceği gibi bütün düğümleri ilgilendiren genel istatistiklerde alınabilir.

#### **4.1.1. OPNET modeller'in hiyerarşik yapısı**

OPNET Modeller benzetim aracında hiyerarşik bir yapı mevcuttur, ağ tasarımları bu hiyerarşik yapı çerçevesinde yapılmaktadır. Hiyerarşik yapı bir birine bağlı olan editörler den oluşmakta olup bunlar;

- Proje,
- Düğüm,
- Proses'dir.

Şekil 4.2'de proje (network domain), düğüm (node domain) ve proses (process domain) editörleri ve bu editörlerin birbiri ile hiyerarşik ilişkileri gösterilmiştir. Proje editöründe bulunun her bir nesne düğüm editöründe bulunan modüllerden oluşmuştur. Proje editörü modellemenin en üst katmanını oluştururken, proses editörü ise en alt katmanını oluşturmaktadır. Bu modüllerin işlevi ise C kodu ile proses editöründe meydana getirilmektedir [30].



Şekil 4.2. Editörler arası geçişler [30]

Proje editörü en üst aşamadaki modelleme editörüdür. Burada editörün arayüzü sayesinde istenilen nesne (switch, router, workstation vb.) seçilerek uygulama ortamına yerleştirilebilir ve özellikleri değiştirilebilir. Ağ yapıları oluşturularak bir biri ile bağlanabilir, bu yapıya istenilen ağ trafiği ilave edilebilir ve grafiksel sonuçlar alınabilir. Bu editörde bulunan her nesne aslında düğüm editöründe ki modüllerden meydana gelmektedir.

Düğüm editörü proje editöründe bulunan nesnelerin altyapısını oluşturmaktadır. Bu alt yapı modüller ve bunları bağlayan iletim hatları aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu modüller sayesinde nesnelerin hangi görevi yerine getireceğini belirlenmektedir. Ayrıca alıcı ile verici arasındaki trafik sinyalleri iletimi bu editör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu editördeki modüllerde proses editörden faydalanılarak oluşturulur.

Proses, hiyerarşik yapının en alt düzeyindeki editördür. Düğüm editöründe ki nesnelerin işlevinin detaylı bir şekilde geliştirildiği ve değiştirildiği editördür. Bu işlevlerin geliştirilmesi C kodları aracılığıyla sağlanmaktadır. Kodlama işlemi ne kadar detaylı yapılırsa o kadar gerçeğe yakın bir tasarım yapılabilir. Kuyruklama prensipleri, farklı trafik oluşturma, algoritmalar, ağı yönetme gibi davranışlar bu editör aracılığıyla sağlanmaktadır.

OPNET benzetim aracında yukarıda belirtilen editörler dışında paket biçim (Packet Format) editörü, bağlantı (Link) model editörü, Arayüz kontrol bilgisi editörü (ICI - Interface Control Information Editor), anten model editörü (Antenna Pattern Editor), modülasyon editörü (Modulation Curve Editor) ve PDF editörü (Probability Density Function Editor) mevcuttur. Veri paketi yapılarını ve içerisindeki alanları tanımlamak için paket biçim editörü kullanılır.

Ağ cihazlarının birbirleri ile haberleşmesini sağlayan veri yollarının oluşturulması ve bağlantı hattı özellikleri için bağlantı model editörü kullanılmaktadır. Prosesler arasında haberleşme kontrol bilgisi için arayüz kontrol bilgisi editörü kullanılır. Alıcı ya da verici olarak kullanılmak üzere anten örnekleri meydana getirmek ve düzenlemek için anten model editörü kullanılır. Alıcı ya da vericilerin modülasyon işlemleri için modülasyon editörü kullanılır. Olasılık ve sıklık fonksiyonlarının düzenlenmesi için PDF editörü kullanılır.

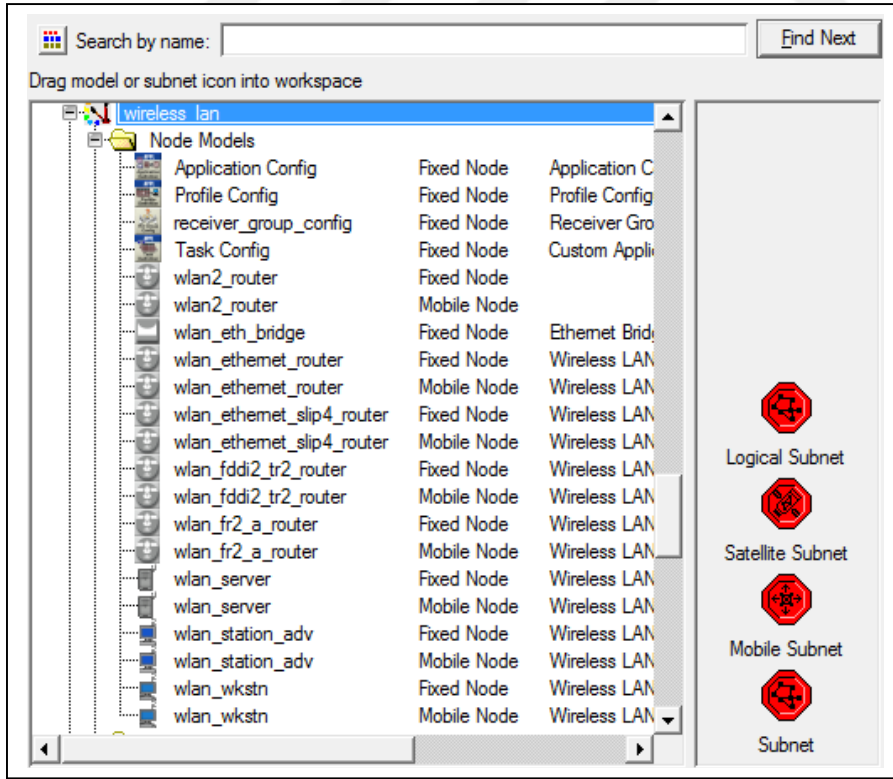


## 5. BENZETİM VE SENARYOLAR (SIMULATION AND SCENARIOS)

OPNET Modeler, nesneye yönelik bir program olup iletişim ağını modelleme, benzetimi gerçekleştirme, belirlenmiş olan modele göre düzenli olarak veri toplama ve elde edilen sonuçları görüntüleyerek analiz etme işlemlerini yapar [35].

Bu bölümde, oluşturulan değişik senaryolara ilişkin benzetimlerin gerçekleştirilmesi için sırasıyla; ağ modelinin yapılandırılması, ağ performansını ortaya koyacak olan istatistiklerin belirlenmesi, benzetimin koşturulması ve sonuçların alınarak yorumlanması adımları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca diğer ağ senaryoları içinde aynı işlem adımları tekrar edilerek sonuçların birbiriyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Benzetim ortamının öncelikle büyüklüğüne karar verilmelidir. Yapılacak olan uygulamaya ve kullanılan donanıma göre çalışma alanının büyüklüğü farklılık gösterebilir. Bu çalışmada 100x100 metre genişliğinde bir çalışma ortamı kullanılmıştır.

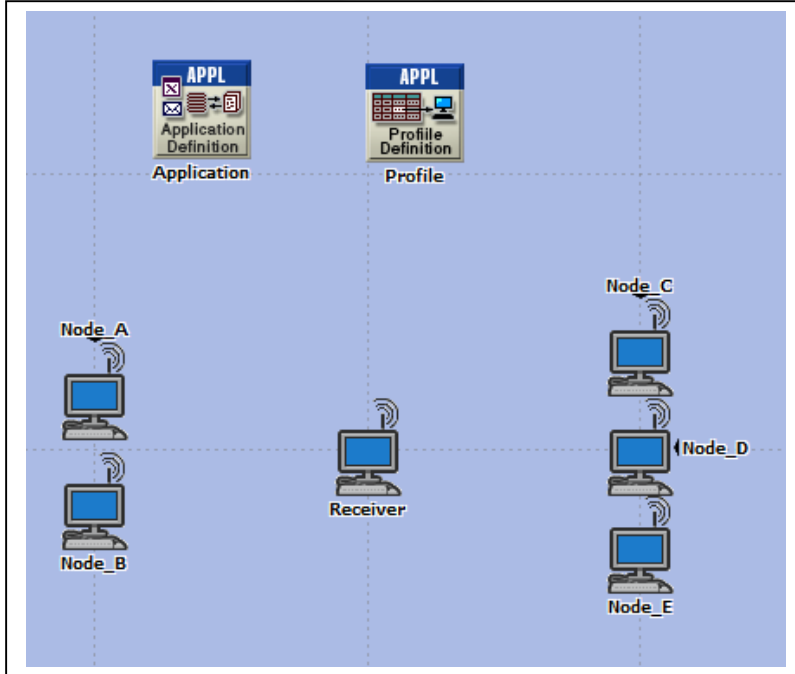


Şekil 5.1. Nesne paleti ekranı

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Nesne Paleti (Object palette) menüsü altında düğüm, sunucu, istemci ve düğümlerin birbirine bağlantısını sağlayan iletim ortamları seçimleri yapılabilmektedir. Yapılacak olan uygulamanın gereksinimlerine göre istenilen donanımlar buradan eklenebilir. Bu menüden “wlan\_wkstn\_adv” seçilerek düğümler çalışma ortamına eklenir.

Bütün düğümlerin kendisine verilen görevi yerine getirebilmek adına çeşitli parametreleri mevcuttur. Söz konusu parametreler tespit edilirken yapılacak olan uygulamanın nitelik ve hedeflerine uygun olmasına özen gösterilmelidir. Düğümlere hedef düğüm tayin edilmeli ve benzetime sonuçları tutarlı bir şekilde ortaya koyacak kadar süre tanınmalıdır [36].

Gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısı Şekil 5.2’de gösterilmiştir. 3 ve daha fazla düğüm varlığında kapsama alanı durumlarına göre gizli düğüm problemi ortaya çıkabilmektedir. Benzetimde, düğüm sayısı artırılarak 6 adet düğüm kullanılmış ve aynı trafik türünün farklı boyutlarından faydalanılarak gerçeğe daha yakın bir ortam sağlanmıştır.

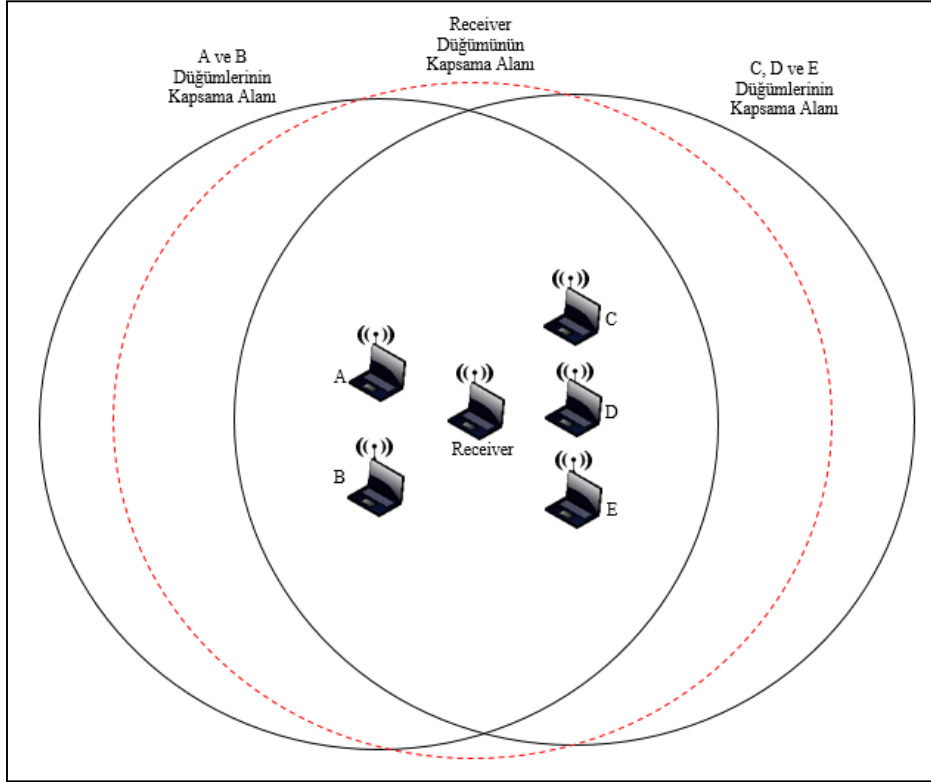


Şekil 5.2. Gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısı

Şekil 5.2’de gösterilen gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısının kapsama alanları Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Receiver olarak belirtilen düğüm Erişim Noktası (AP - Access

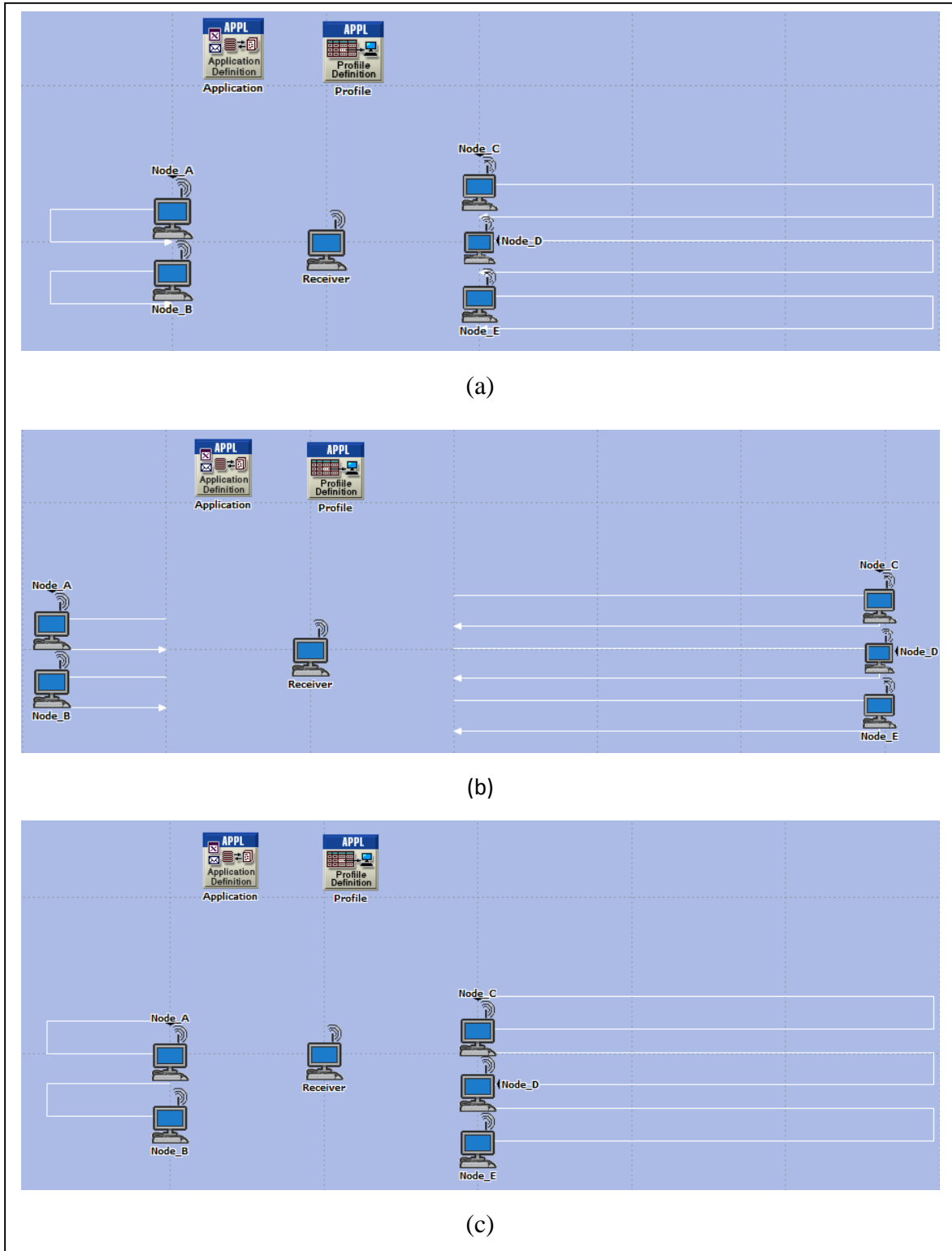


Point) ve düğümlerin receiver'a olan uzaklıkları 12,5 metre olarak belirlenmiştir. Düğümlerin hepsi birbirinin kapsama alanı içerisinde olduğundan gizli düğüm problemi oluşmamıştır.



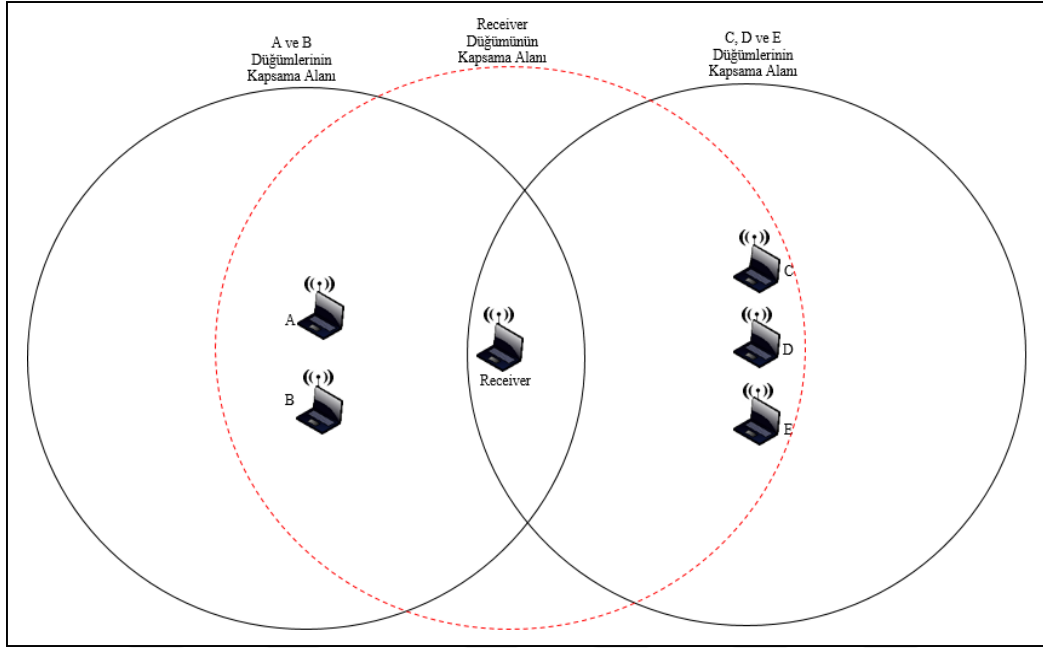
Şekil 5.3. Gizli düğüm probleminin olmadığı ağ yapısında kapsama alanları

Şekil 5.4 (a)'da düğümlerin ilk konumları gösterilmiştir. Şekil 5.4 (b)'de receiver hariç düğümler ok istikametinde hareket ederek 10 dakika boyunca 0,062 m/sn hızla receiver'dan uzaklaşırlar ve 10 dakika süreyle bu mesafeyi korurlar. Şekil 5.4 (b)'de, tanımlanmış olan bu zaman ve mesafe içerisinde hareketlilik sonucunda A ve B düğümleri sol tarafa doğru, C, D ve E düğümleri ise sağ tarafa doğru uzaklaşarak birbirlerinin kapsama alanı dışına çıkarlar. Birbirlerinin kapsama alanı dışına çıkmaları sonucunda A ve B düğümü receiver hariç diğer düğümlere karşı gizli düğüm olurlar. Terside geçerli olduğundan C, D ve E düğümleri de receiver hariç diğer düğümlere karşı gizli düğüm durumunda olurlar. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla ağ performansında düşüş olmaktadır. Düğümler için belirlenen rota sonunda Şekil 5.4 (c)'de görüldüğü gibi tekrar 10 dakika boyunca 0,062 m/sn hızla birbirlerine yaklaşır ve başladıkları konumlara dönerler.



Şekil 5.4. Gizli düğüm probleminin olduğu ağ yapısı

Şekil 5.4 (b)'de gösterilen gizli düğüm probleminin ortaya çıktığı ağ yapısının kapsama alanları Şekil 5.5'de gösterilmiştir. A ve B düğümleri, C, D ve E düğümlerine karşı gizli düğüm durumuna gelmiştir. Tersisi de geçerlidir.



Şekil 5.5. Gizli düğüm probleminin olduğu ağ yapısında kapsama alanları

Çalışma ortamına Object Palette yardımıyla Uygulama Tanımlama (Application Definition) ve Profil Tanımlama (Profile Definition) nesnelere de eklenmiştir. Uygulama Tanımlama (Application Definition) ile video, ses, e-mail, veri tabanı, ftp (File Transfer Protocol), http (HyperText Transfer Protocol) ve kullanıcı tanımlı özel uygulamalar gibi ağ trafiklerinin karakteristikleri ve tipleri tanımlanabilir. Bu nesne ile seçilen trafik tipinin, çerçeve büyüklüğü, üretilme aralık zamanı vb. gibi özellikleri belirlenir. Application nesnesi üzerinde Application Definitions sekmesi altındaki Number of Rows seçeneği 5 olarak ayarlanarak Çizelge 5.1’de gösterildiği gibi 5 adet farklı özelliklere sahip video konferans uygulaması eklenmiştir.

Çizelge 5.1. Uygulama tanımlama ayarları

Özellik Tipi	Video Konferans 1	Video Konferans 2	Video Konferans 3	Video Konferans 4	Video Konferans 5
Frame Interarrival Time Information	Constant (0,1)	Constant (0,0667)	Constant (0,0667)	Constant (0,0667)	Constant (0,3)
Stream Frame Size(bayt)	Constant (5280)	Constant (150560)	Constant (200560)	Constant (250560)	Constant (350440)
Symbolic Destination Name	Video Destination	Video Destination	Video Destination	Video Destination	Video Destination
Type of Service	Best Effort (0)	Best Effort (0)	Best Effort (0)	Best Effort (0)	Best Effort (0)
RSVP Parameters	None	None	None	None	None
Traffic Mix (%)	All Discrete	All Discrete	All Discrete	All Discrete	All Discrete

Profil Tanımlama (Profile Definition) bölümünde, Uygulama tanımlama (Application Definition) nesnesinde belirtilen trafik tiplerinin Çizelge 5.2’de gösterildiği gibi, veri iletimine başlama gecikmesi, benzetim boyunca çalıştırılma süreleri, tekrarlanma süresi ve adedi, veri iletimine başlama zamanı gibi özellikleri tanımlanır. Profile nesnesi üzerinde Profile Configuration seçeneği altındaki Number of rows seçeneği 5 olarak ayarlanarak video konferans için gerekli özellikler oluşturulmuştur. Çalışma alanına eklemiş olduğumuz düğümlere Profil Tanımlama (Profile Definition) bölümünde tanımlanmış olan özellikler eklenir.

Çizelge 5.2. Video konferans için tanımlamalar

Özellik Tipi	Özellik
Start Time Offset(seconds)	Uniform (5,10)
Duration(seconds)	End of Profile
Inter-Repetition Time(seconds)	Exponential(300)
Number of Repetition	Unlimited
Repetition Patern	Serial
Operation Mode	Serial(Ordered)
Start Time(seconds)	Uniform (100,110)

Benzetim çalışmasında; Çizelge 5.3’de gösterilen gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durum için; RTS’ nin kapalı olduğu ve açılarak RTS eşik değeri 1-200-400-800-1600-2346 bayt olarak değer verilen senaryolar olmak üzere 14 senaryo mevcuttur. Öncelikle gizli düğüm probleminin olmadığı durumlarda RTS/CTS’nin etkisi incelenmiş olup daha sonra gizli düğüm probleminin olduğu durum için incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Gizli düğüm problemi ve RTS değeri

Gizli Düğüm Problemi	RTS Değeri (bayt)					
Yok	RTS Kapalı					
Yok	1	200	400	800	1600	2346
Var	RTS Kapalı					
Var	1	200	400	800	1600	2346

Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında kullanılan senaryoların adları Çizelge 5.4’de gösterilmiştir. Sonuçları daha net ortaya koyabilmek amacıyla RTS eşik değeri dışındaki tüm parametreler her düğüm için aynı olacak şekilde uygulanmıştır. Gerçekleştirilen senaryolarda düğümler arasındaki trafik akışı A, B, C, D, E düğümlerinden “Reciever” düğümüne doğrudur.

Çizelge 5.4. Senaryolar ve isimlendirmeleri

Senaryo	Senaryo Adlandırmaları
1	NoHiddenNode_NoRTS
2	NoHiddenNode_RTS_1
3	NoHiddenNode_RTS_200
4	NoHiddenNode_RTS_400
5	NoHiddenNode_RTS_800
6	NoHiddenNode_RTS_1600
7	NoHiddenNode_RTS_2346
8	HiddenNode_NoRTS
9	HiddenNode_RTS_1
10	HiddenNode_RTS_200
11	HiddenNode_RTS_400
12	HiddenNode_RTS_800
13	HiddenNode_RTS_1600
14	HiddenNode_RTS_2346

Çizelge 5.5’de gösterildiği gibi, benzetim ortamı 100x100 metre genişliğinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Düğüm sayısı ve iletim menzilleri dikkate alındığında, düğümlerin birbirlerinin iletim menzili dışına çıkarak gizli düğüm problemi oluşturabileceği yeterli alan verilmiştir. Ağ cihazlarının birbirlerini tanıyarak paket göndermeye hazır hale gelmeleri amacıyla ağa belli bir süre tanınmış olup benzetim toplamda 30 dk sürdürülmüştür. Bu şekilde doğru sonuçlar alabilmek amacıyla yeterli süre tanınmıştır. 30 dk boyunca devam eden benzetimde, düğümlerin birbirlerinden uzaklaşmaları sonucu 7. ile 24. dakikalar arasında gizli düğüm problemi oluşmaktadır. Düğümlerin veri iletim menzili yaklaşık olarak 50 metre ve iletim gücü 0,00001 Watt olarak seçilmiştir. Bütün düğümlerin fiziksel katmanında DSSS olarak adlandırılan bir teknik kullanılmıştır. DSSS tekniği, bir pattern üretir. Bu pattern, gönderilecek her bit için çok miktarda bitlerden oluşur ve pattern ne kadar uzunsa orijinal verinin geri alınması o kadar yüksek olur. Pattern de bulunan bir ya da iki bit iletişim sırasında bozulursa, orijinal veri iletişim tekrarlamadan düzeltilebilir [37 - 39].

Çizelge 5.5. Kablosuz ağ parametreleri

Parametreler	Değerler
Simulation Area	100x100 metre
Number of Node	6
Simulation Time	30 dk
Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
BSS Identifier	Auto Assigned
Access Point Functionality	Disable (Receiver için Enable)
Physical Characteristics	Direct Sequence
Channel Settings	Channel 1
Transmit Power	0,00001 Watt
Transmission Range	50 metre
RTS Threshold	None (senaryolara göre farklılık göstermektedir)
Packet-Reception Threshold	-95
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
AP Beacon Interval (seconds)	0,02
Max Receive Lifetime (seconds)	0,5
Buffer Size (bits)	256 000
Large Packet Processing	Drop

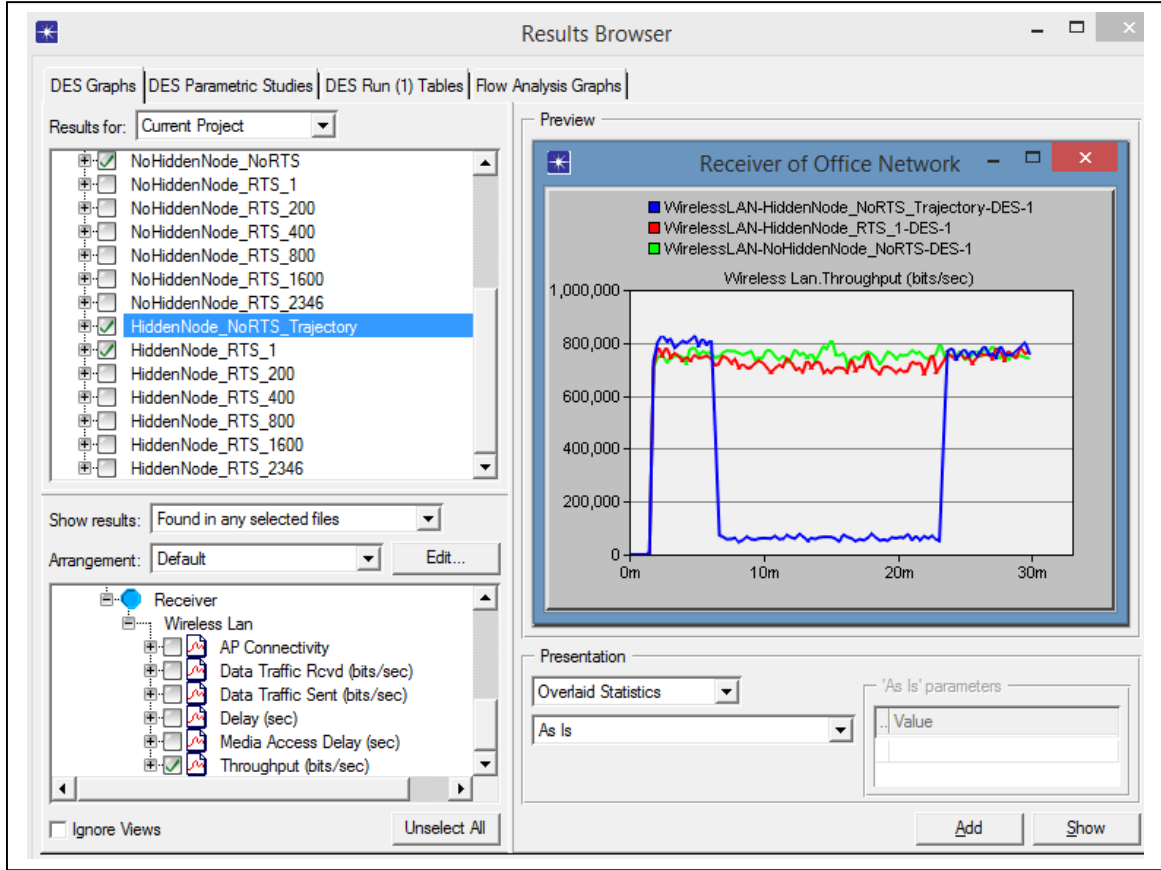
Benzetimin koşturulmasının tamamlanmasının ardından gerçekleşen olay sayısı, saniyede gerçekleşen olaya istinaden benzetimin hızı tespit edilebilmektedir. Bu şekilde ağ kurulumu ve konfigürasyonu bitirilerek sonuçlar elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ANALİZLER

Bu bölümde gerçekleştirilen senaryolardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar grafikler üzerinden yorumlanmış ve performansların karşılaştırılması yapılmıştır.

İstenilen düğümün hangi miktarda trafik aldığını göstermek için alınan veri trafiği karşılaştırma birimi, gecikme oranlarının değişimi ve karşılaştırılması için gecikme karşılaştırma birimi kullanılmıştır. Ağda, birim zamanda hedef düğüme aktarılan bit miktarını tespit edebilmek amacıyla birim zamanda işlenen paket miktarı karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır. Ayrıca veri bir ortamdan diğerine geçerken ortama erişimden kaynaklanan gecikmeyi ölçebilmek amacıyla da ortama erişim gecikmesi karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır. Ağ yoğunluğu sebebiyle bazı paketler düşürülmektedir, bunları ortaya koyabilmek amacıyla düşürülen paket miktarı karşılaştırma ölçütü, paketlerin iletim sayılarını takip edebilmek amacıyla yeniden iletim girişimi karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır. Veri çerçevelerinin gecikme süreleri arasındaki farklılığı tespit edebilmek için ise gecikmeler arasındaki farklılık (Jitter) karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır.

Benzetimin koşturulmasının ardından, sonucu elde edilmek istenen senaryo ve karşılaştırma ölçütü seçilerek Şekil 6.1’de görüldüğü gibi grafikler alınabilmektedir. Bu şekilde senaryonun tamamını ilgilendiren grafikler alınabildiği gibi sadece herhangi bir düğüm için de grafikler elde edilebilmektedir. Şekil 6.1’de örnek olarak gizli düğüm probleminin olmadığı ve RTS eşik değerinin kullanılmadığı, gizli düğüm probleminin olduğu fakat RTS eşik değerinin kullanılmadığı ve gizli düğüm probleminde RTS eşik değerinin 1 olarak kullanıldığı 3 senaryo için receiver’ın aldığı birim zamanda ki paket miktarı gösterilmiştir. Grafikte yatay eksen benzetimde geçen süreyi, dikey eksen ise bit miktarını göstermektedir.

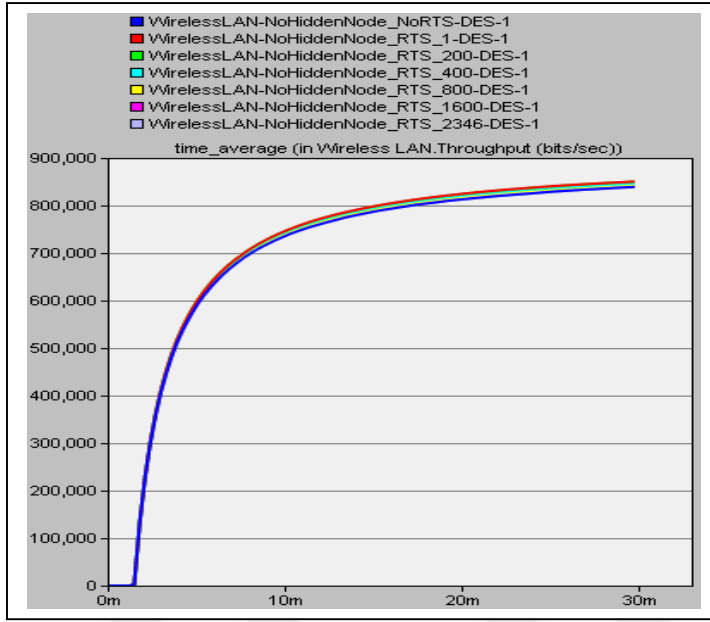


Şekil 6.1. Benzetim sonuç grafiklerini elde etme

### 6.1. Gizli Düğüm Probleminin Olmadığı Grafik Analizleri

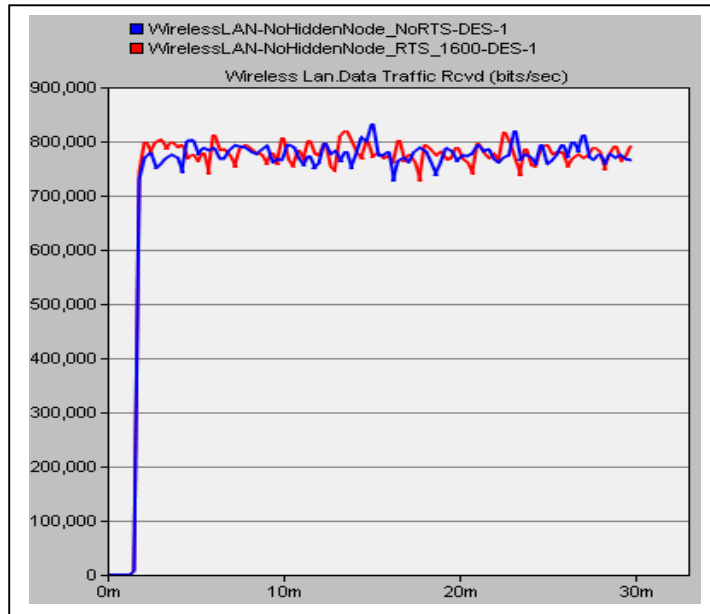
Gizli düğüm problemini olmadığından RTS eşik değeri değişiminin birim zamanda işlenen paket miktarına etkisi Şekil 6.2’de ortaya konulmuştur. Performans açısından birim zamanda işlenen paket miktarı oldukça önemlidir. Kablosuz yerel alan ağlarında performansın yüksek olması isteniyorsa saniyede işlenen olay (event) sayısı yüksek olacak şekilde ağ tasarımı yapılmalıdır. Şekil 6.2’de görüldüğü üzere gizli düğüm problemi yokken 850 000 bit/sn civarında trafik oluşmuştur. Oluşan trafik, RTS değerinin kapalı ya da açık (1-200-400-800-1600-2346 bayt) olması sonucu dikkate değer bir şekilde değişmemiştir. Dolayısıyla performansı önemli ölçüde etkilememiştir.





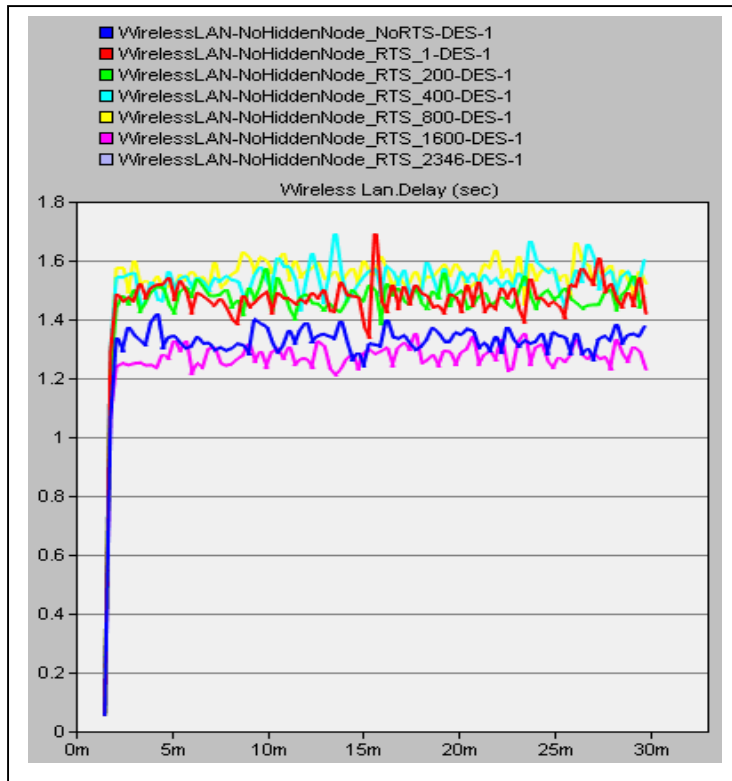
Şekil 6.2. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS değışiminin birim zamanda işlenen paket miktarına etkisi

Şekil 6.3’de gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS’nin kapalı ya da açık oluşunun Receiver’ın aldığı trafiğe etkisi gösterilmiştir. Ortaya konulan sonucun şekil 6.2’de alınan sonuçları doğruladığı tespit edilmiştir. RTS’nin kapalı olduğu durum ile örnek bir RTS değeri verilen durum karşılaştırıldığında receiver’ın aldığı trafik miktarında kayda değeri bir değışiklik olmadığı görülmüştür.



Şekil 6.3. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS’nin receiver’ın aldığı trafiğe etkisi

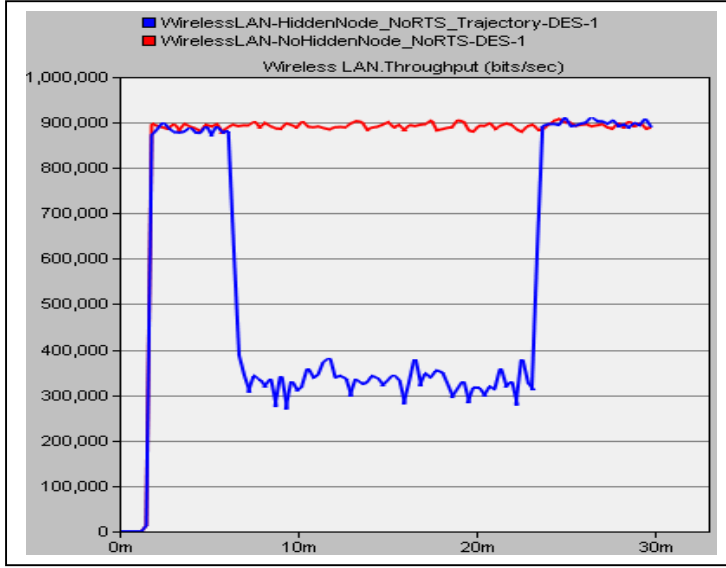
Şekil 6.4’de gizli düğüm probleminin olmadığı durum için ağdaki tüm düğümlerin paket gecikmeleri gösterilmektedir. Gecikme parametresi kablosuz yerel alan ağlarının oldukça önemli parametrelerinden birisidir. Gecikmenin artması veri aktarımının yavaşladığını göstermekte ve dolayısıyla ağ da yaşanan bu zaman kaybı performansa olumsuz olarak tesir etmektedir. İyi performans elde etmenin yolu gecikme süresinin düşük olacağı ağlar tasarlamaktan geçmektedir. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumlarda RTS eşik değerinin değişimi gecikme süresini kayda değer bir ölçüde değiştirmemiştir.



Şekil 6.4. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS değişiminin gecikme süresine etkisi

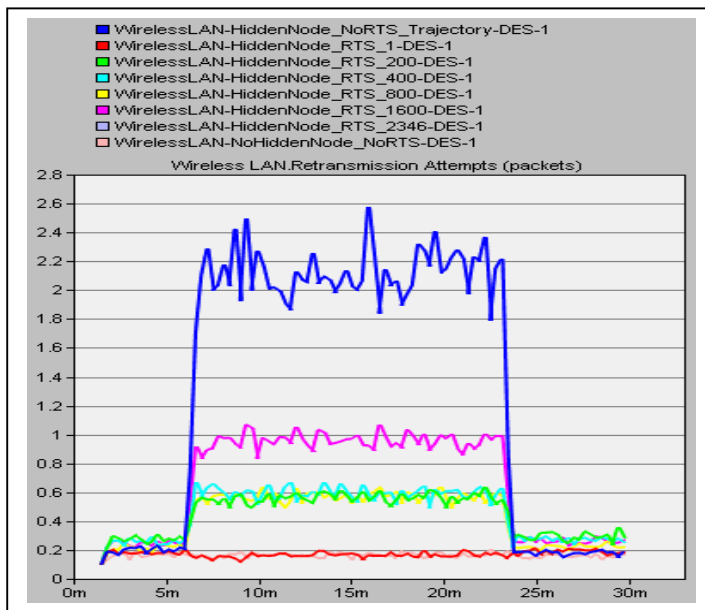
## 6.2. Gizli Düğüm Probleminin Olduğu Grafik Analizleri

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi düğümler hareketsizken oluşan trafik 900 000 bit/sn iken düğümlerin hareketlenerek birbirinden uzaklaşması (Şekil 5.3 (b)’de gösterildiği gibi) sonucu gizli düğüm problemi ortaya çıktığında 300 000 bit/sn civarına düşmektedir. Görüldüğü gibi performansta önemli ölçüde bir düşüş yaşanmaktadır. İşte bu durumda meydana gelen performansın düşmesini önlemek ve artırmak gerekmektedir. Bu amaçla farklı RTS değerleri uygulanarak performansı artırılması sağlanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.5. Gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumlarda birim zamanda işlenen paket miktarı

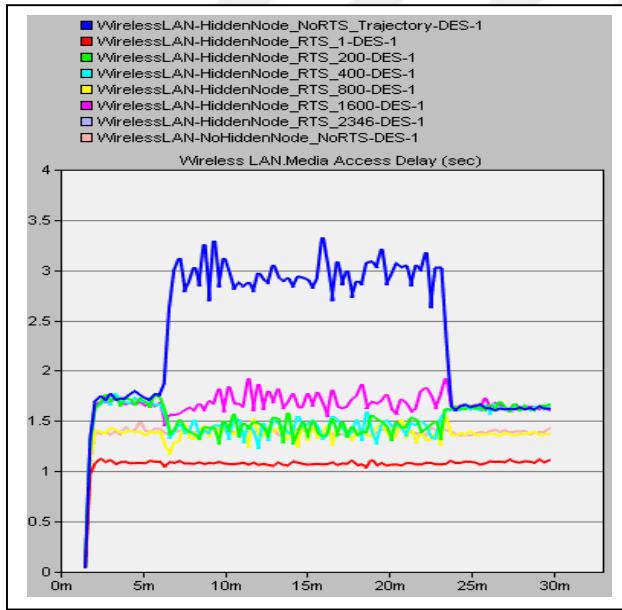
Şekil 6.6'da RTS değerlerinin değişimine göre yeniden iletim girişimi sayıları gösterilmektedir. Bu karşılaştırma ölçütü, veri çerçevelerinin başarılı bir biçimde karşı tarafa ulaşmasına veya deneme sayısının short ya da long retry limit değerine ulaşmasına kadar ki iletim girişimi sayılarını göstermektedir [40]. RTS eşik değerinden daha küçük ya da eşit olan veri çerçevelerinin iletim girişimi sayısı en fazla short retry limitte belirtilen sayı kadardır. RTS/CTS mekanizması kullanılırken RTS eşik değerinden daha büyük veri çerçeveleri için ise iletim girişimi sayısı en fazla long retry limit kadardır.



Şekil 6.6. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi sayısı

Düğümleer birbirleri için gizli duruma geldiğinde yeniden iletim girişimi sayılarının arttığı gözlemlenmiştir. Ters yönde hareket eden düğümlerin birbirlerinin kapsama alanından çıkması sonucu gizli düğüm problemi ortaya çıktığında çarpışmaların artmasından dolayı yeniden iletim girişimi sayıları aşırı derecede artmıştır. RTS/CTS mekanizmasının kullanılması gizli düğüm problemi mevcutken yeniden iletim girişimi sayısını azaltmıştır. Düşük yeniden iletim girişimi göstermiştir ki RTS/CTS mekanizması çarpışmayı kontrollü bir şekilde azaltmıştır. Düşük RTS değeri performansı artırmıştır.

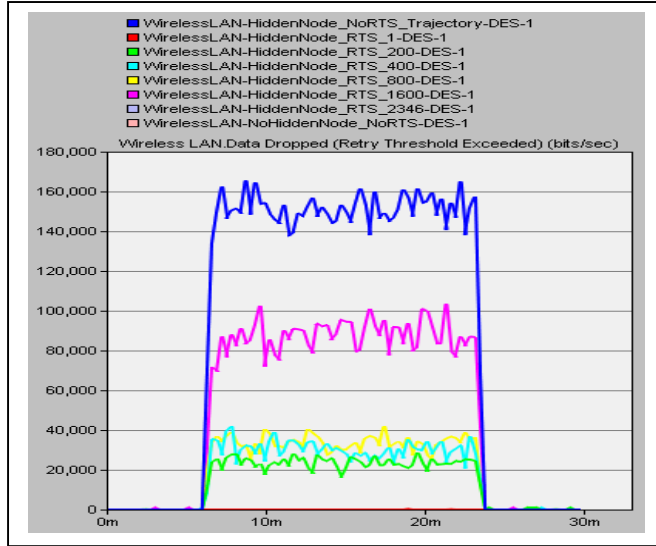
Şekil 6.7’de RTS değerlerine göre ortama erişim gecikme süreleri gösterilmiştir. Düğümler birbirinden uzaklaşarak gizli durum problemi meydana geldiğinde ortama erişim gecikmesi artmıştır. Düğümlerin birbirlerinin kapsama alanından çıkması sonucu gizli düğüm problemi ortaya çıktığında çarpışmaların artmasından dolayı ortama erişim gecikmesi artmıştır. Gizli düğüm problemi varken RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ortama erişim gecikme süresini azaltmıştır. RTS eşik değeri küçüldükçe ortama erişim gecikme süresi azalmış ve performans iyileşmiştir.



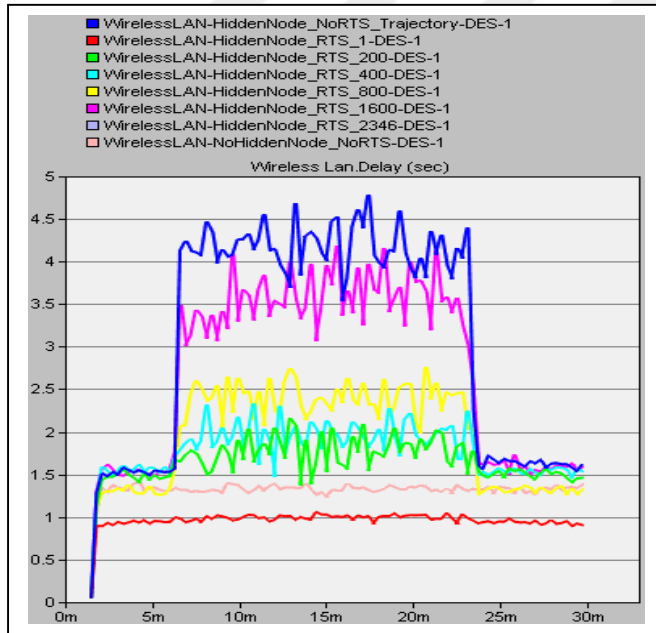
Şekil 6.7. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikme süresi

Şekil 6.8’de RTS eşik değerlerinin değişimine göre düşürülen paket miktarları ortaya konulmuştur. RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ağda ki düşürülen paket miktarı sayısını azaltmaktadır. Gizli düğüm probleminin mevcut olduğu durumda RTS/CTS mekanizması kapalıyken düşürülen paket miktarı 160 000 bit/sn civarındadır. RTS/CTS

mekanizması kullanılmaya başlandığında düşürülen paket miktarı azalmış ve RTS eşik değerinin düşürülmesiyle birlikte düşürülen paket miktarı 0 bit/sn civarına kadar azalmıştır.



Şekil 6.8. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarları

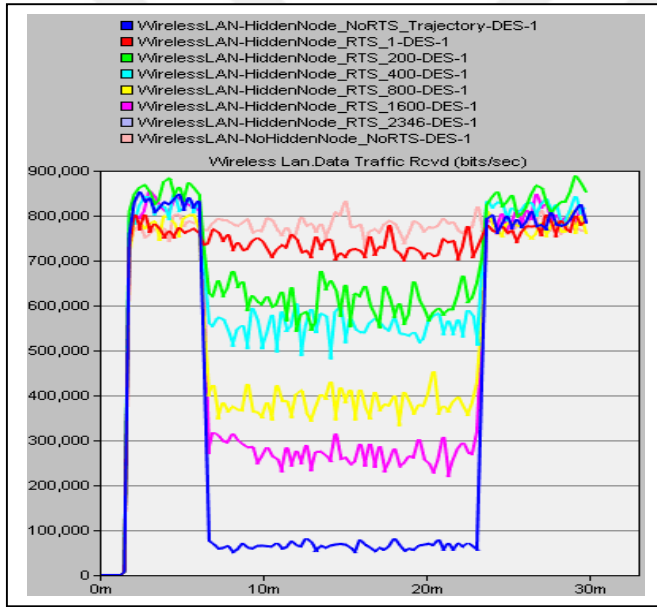


Şekil 6.9. RTS değerlerine göre gecikme süreleri

Şekil 6.9'da ağdaki receiver düğümüne ulaşan paketlerin gecikme sürelerini göstermektedir. Gizli düğüm problemi esnasında oluşan çarpışmadaki artış gecikmenin ani bir şekilde artmasına sebep olur. Gecikmedeki bu artış performansın düştüğünün en büyük göstergelerinden biridir. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla artan çarpışmayı

azaltılmak amacıyla IEEE 802.11 protokolü RTS/CTS mekanizması isteğe bağlı olarak kullanılabilir ve bu şekilde ağ performansında artış sağlanabilir.

Kablosuz ağlarda alınan veri trafiği, performansın değerlendirilebilmesi bakımından oldukça önemli bir kriterdir. Şekil 6.10'da kablosuz ağ içerisindeki RTS değerlerine göre receiver düğümünün aldığı trafik miktarı gösterilmektedir. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda alınan veri trafiği, en yüksek değer olan 800 000 bit/sn civarındadır. Alınan veri trafiği, gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla ciddi bir oranda düşüş göstererek 80 000 bit/sn civarına düşmüştür. RTS/CTS mekanizmasının kullanılmaya başlamasıyla ağ performansının artırıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.10. RTS değerlerine göre Receiver'ın aldığı trafik miktarı

Alınan veri trafiği miktarı; RTS eşik değerine 2346 bayt değeri verildiğinde 80 000 bit/sn civarında kalmış ve RTS/CTS mekanizmasının kapalı olmasıyla aynı sonucu vermiştir. RTS eşik değerine 1600 bayt değeri verildiğinde 300 000 bit/sn seviyesine, 800 bayt değeri verildiğinde 400 000 bit/sn seviyesine, 400 bayt değeri verildiğinde 550 000 bit/sn seviyesine, 200 bayt değeri verildiğinde 650 000 bit/sn seviyesine arttırılmıştır. RTS eşik değerine en düşük değer olan 1 bayt değeri verildiğinde ise alınan veri trafiği miktarı 710000 bit/sn seviyesine yükselmiş ve en fazla artış oranı gerçekleşmiştir. RTS eşik değeri azaltıldıkça performansın iyileştiği ortaya konulmuştur.

### 6.3. Performans Kriterlerine Göre Sonuçların Analiz Edilmesi

Gerçekleştirilen bu çalışmada, kablosuz yerel alan ağlarında çoklu ortam uygulamalarının iletiminde gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumlarda büyük verilerin iletiminde farklı RTS eşik değerlerinin performansı önemli derecede etkilediği görülmüştür. RTS eşik değerlerinin değişimi gizli düğüm problemi yokken sonuçları kayda değer bir oranda etkilemezken gizli düğüm problemi varlığında performansı büyük oranda artırmıştır. Performans kriterine göre bu oranlar değişmektedir. Yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre sonuçların detaylı analizleri grafiksel olarak alt başlıklar halinde verilmiştir.

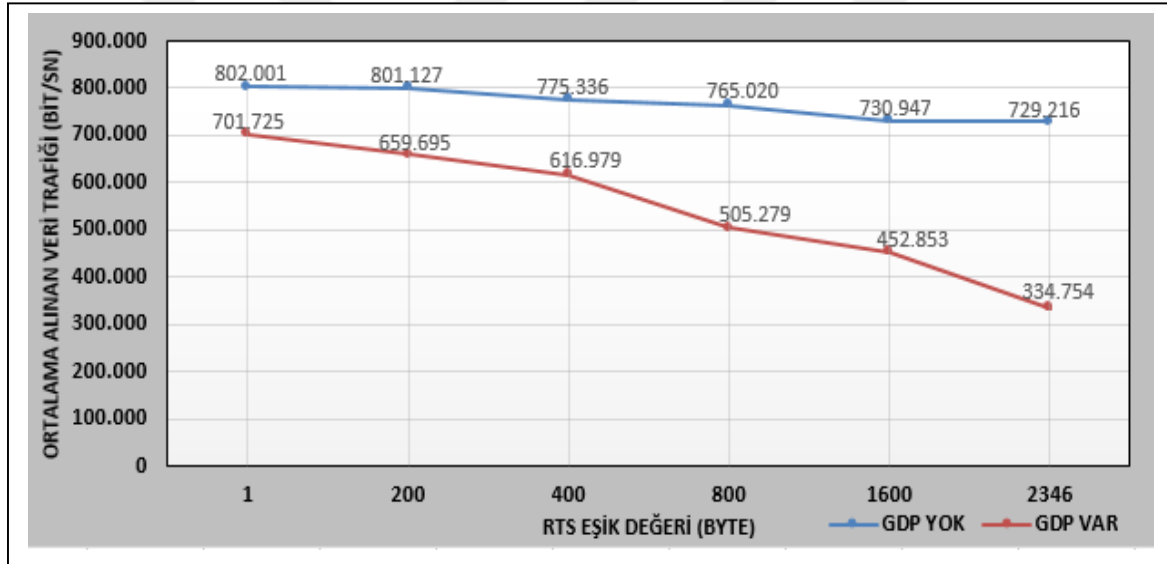
Çizelge 6.1. Performans kriterlerine göre genel sonuçlar

Gizli Düğüm Problemi	RTS eşik değeri (bayt)	Receiver Ortalama alınan veri trafiği (bit/sn)	Wireless LAN Ortalama düşürülen paket miktarı (bit/sn)	Wireless LAN Ortalama gecikme süresi (saniye)	Wireless LAN Ortalama yeniden iletim girişimi sayısı	Wireless LAN Ortalama birim zamandaki paket miktarı (bit/sn)	Wireless LAN Ortalama ortama erişim gecikmesi (saniye)
YOK	-	729 216	0	1,412768	0,16233	838 935	1,37783
YOK	1	802 001	77 084	1,672323	0,26627	850 279	1,65636
YOK	200	801 127	73 333	1,681979	0,26904	850 027	1,66605
YOK	400	775 336	41 373	1,677486	0,256680	846 520	1,66069
YOK	800	765 020	24 008	1,671281	0,252681	844 379	1,65158
YOK	1600	730 947	20 686	1,348224	0,20762	848 282	1,32850
YOK	2346	729 216	0	1,412768	0,16233	838 935	1,37783
VAR	-	334 754	85 889	1,566662	1,33567	518 237	2,41485
VAR	1	701 725	234	1,084056	0,17072	844 377	1,06930
VAR	200	659 695	13 519	1,517967	0,44782	841 944	1,50222
VAR	400	616 979	17 324	1,514058	0,46003	836 714	1,49694
VAR	800	505 279	19 173	1,288797	0,42738	829 985	1,35869
VAR	1600	452 853	49 564	1,483241	0,67197	789 097	1,65738
VAR	2346	334 754	85 889	1,566662	1,33567	518 237	2,41485

#### 6.3.1. RTS değerlerine göre alınan veri trafiği değişimi

Şekil 6.11’de görüldüğü gibi ortalama alınan veri trafiklerinde, gizli düğüm probleminin olmadığı ve olduğu durumda RTS eşik değerinin 1 bayt olarak seçilmesi durumunda artış

sağlanmıştır. Gizli düğüm problemi yokken ortalama alınan veri trafiği RTS eşik değeri uygulanmadan 729 216 bit/sn iken RTS eşik değeri 1 bayt olarak seçilmesi ile 802 001 bit/sn değerlerine yükselmiştir. Ortalama alınan veri trafiği, gizli düğüm problemi ortaya çıktığında RTS eşik değeri olmadan 334 754 bit/sn civarına düşmüş RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak için 334 754 bit/sn civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak 1600 bayt olarak seçildiğinde 452 853 bit/sn civarına, 800 bayt olarak seçildiğinde 505 279 bit/sn civarına, 400 bayt olarak seçildiğinde 616 979 bit/sn civarına, 200 bayt olarak seçildiğinde 659 695 bit/sn civarına ve 1 bayt olarak için 701 725 bit/sn değerine yükselmiştir. Sonuç olarak, gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla düşen ortalama alınan veri trafiği RTS eşik değerlerinin kullanılması ile arttırılmıştır. Ortalama alınan veri trafiği, RTS eşik değerinin 1 bayt seçilmesi durumunda en yüksek değere çıkmıştır.



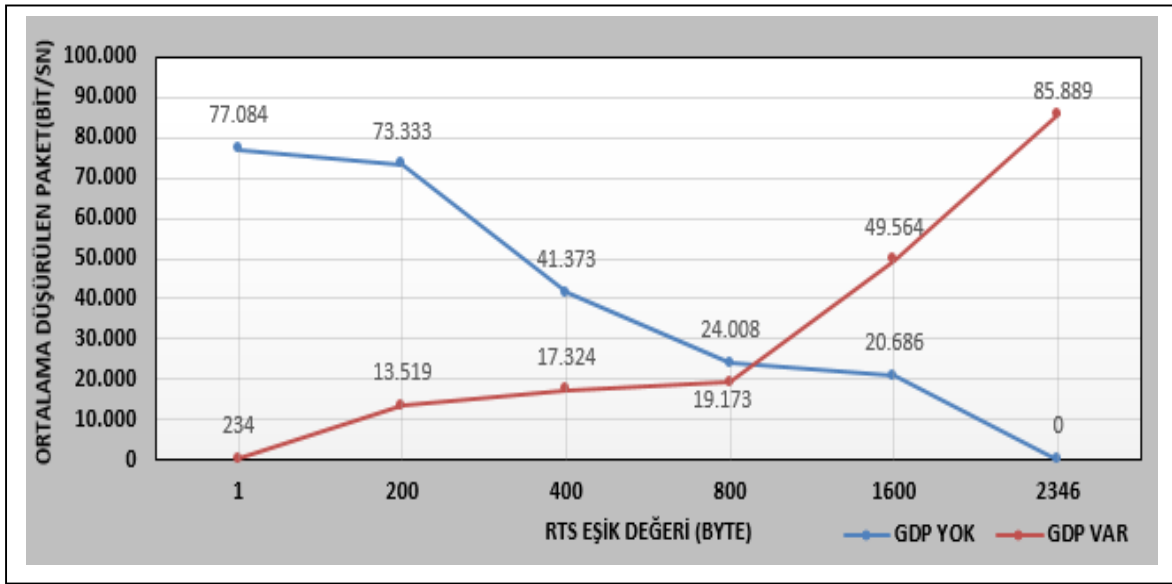
Şekil 6.11. RTS değerlerine göre alınan veri trafiği değişimi

### 6.3.2. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarı değişimi

Şekil 6.12'de RTS eşik değerleri değişimine göre ortalama düşürülen paket miktarı gösterilmiştir. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda en düşük ortalama düşürülen paket miktarı, RTS eşik değerinin kapalı olması durumunda elde edilmiştir. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS/CTS mekanizması kapalıyken düşürülen paket miktarı olmamıştır. Ancak gizli düğüm probleminin ortaya çıkması ile 85 889 bit/sn civarına yükselmiştir. RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak seçildiğinde 85 889 bit/sn civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak farklı RTS eşik değerlerine karşılık ortalama



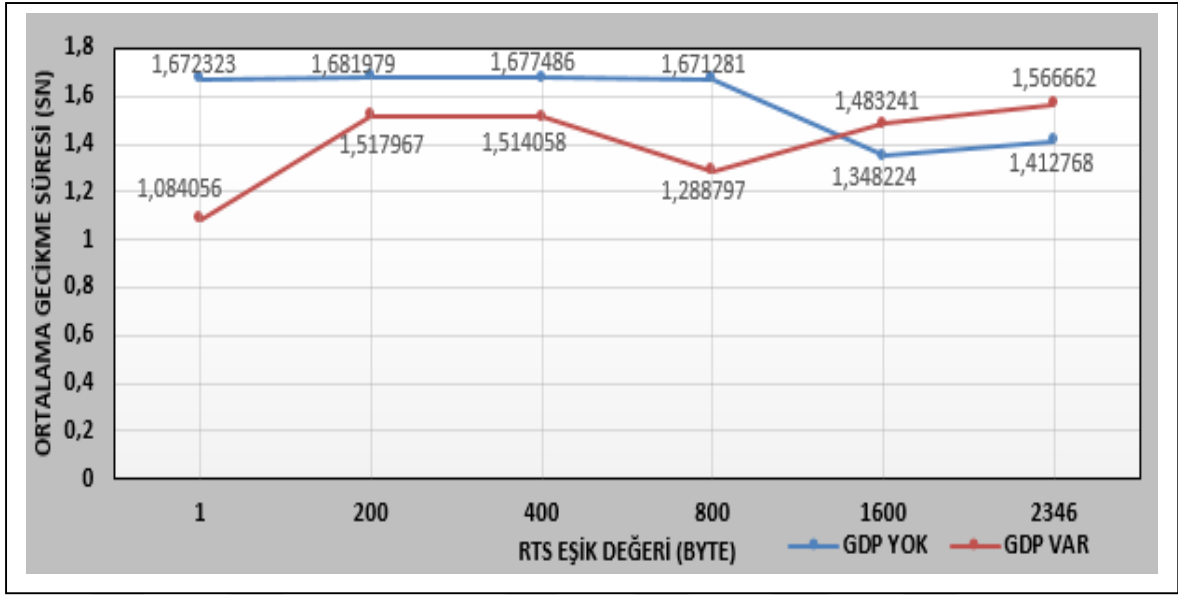
düşürülen paket miktarlarında değişmelerin olduğu görülmüştür. RTS değerleri; 1600 bayt olarak seçildiğinde 49 564 bit/sn civarına, 800 bayt olarak seçildiğinde 19 173 bit/sn civarına, 400 bayt olarak seçildiğinde 17 324 bit/sn civarına, 200 bayt olarak seçildiğinde 13 519 bit/sn civarına, 1 bayt olarak seçilince 234 bit/sn civarına düşmüştür. Sonuç olarak, gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla artan ortalama düşürülen paket miktarı RTS eşik değerlerinin kullanılması ile düşürülmüştür. Bu değer RTS eşik değeri 1 bayt olduğunda en düşük çıkmaktadır.



Şekil 6.12. RTS değerlerine göre düşürülen paket miktarı değişimi

### 6.3.3. RTS değerlerine göre gecikme süresi değişimi

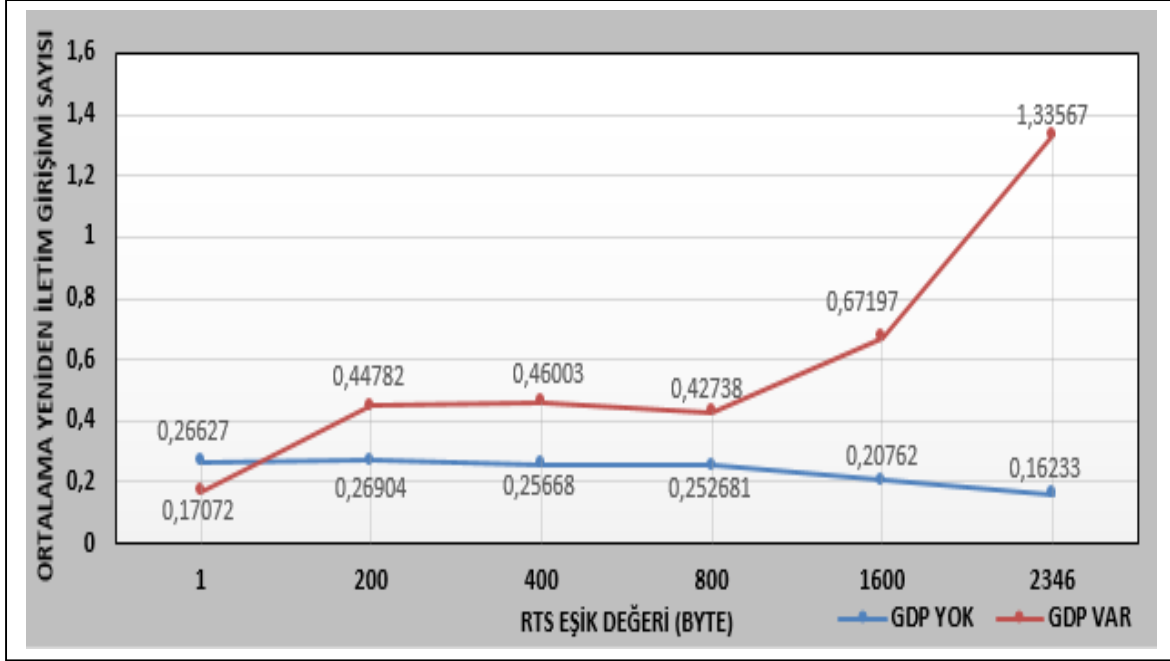
Şekil 6.13'de görüldüğü gibi ortalama gecikme süresinde, gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS eşik değeri 1600 olarak seçildiğinde gecikme 1,348224 sn ile en düşük değerindedir. Gizli düğüm problemi ortaya çıktığında RTS eşik değeri kapalı iken gecikme 1,566662 sn civarına yükselmiştir. RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak seçildiğinde gecikme 1,566662 sn civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak 1600 bayt olarak seçildiğinde gecikme; 1,483241 sn civarına, 800 bayt olarak seçildiğinde 1,288797 sn civarına, 400 bayt olarak seçildiğinde 1,514058 sn civarına, 200 bayt olarak seçildiğinde 1,517967 sn civarına, 1 bayt olarak seçilince 1,084056 sn civarına düşmüştür. Gizli düğüm probleminde farklı RTS değerlerinin kullanılması ortalama gecikme süresini düşürmektedir. RTS eşik değerinin 1 bayt seçilmesi durumunda en düşük gecikme değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.13. RTS değerlerine göre gecikme süresi değişimi

#### 6.3.4. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi değişimi

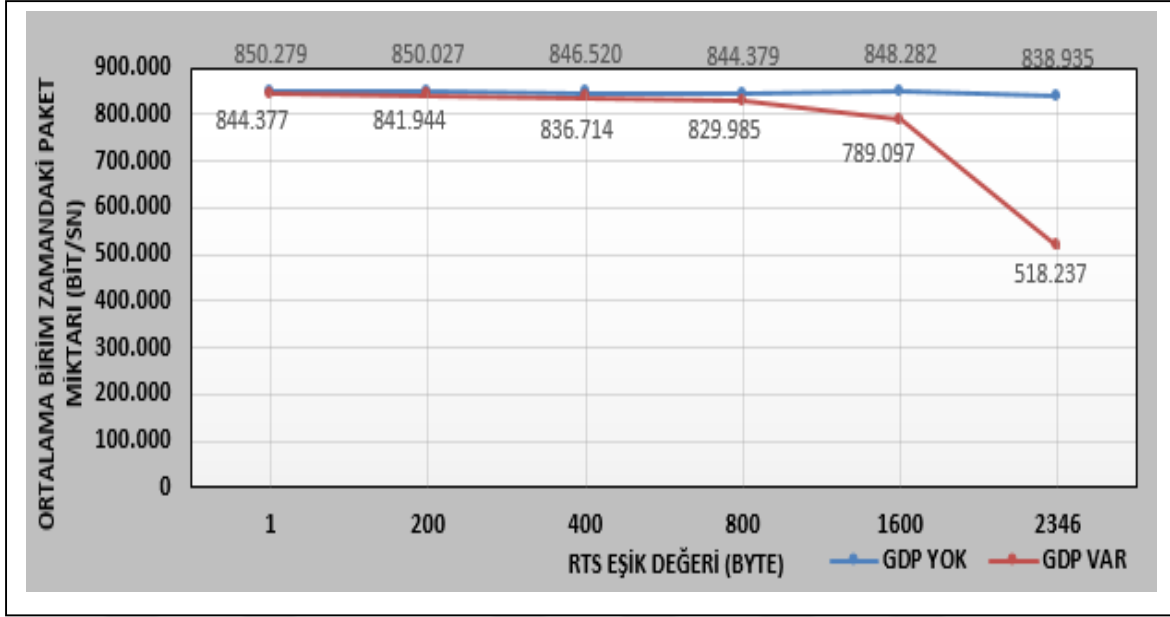
Şekil 6.14’de görüldüğü gibi ortalama yeniden iletim girişiminde, gizli düğüm probleminin olmadığı durumda en düşük değer RTS eşik değerinin kapalı olması durumunda elde edilmiştir. Gizli düğüm problemi yokken RTS eşik değerinin kapalı olması durumunda yeniden iletim girişimi sayısı 0,16233 ile en küçük değerindedir. Gizli düğüm problemi ortaya çıktığında RTS eşik değeri kapalı iken yeniden iletim girişimi sayısı 1,33567 civarına yükselmiştir. Bu sayı RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak seçildiğinde 1,33567 civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak yeniden iletim girişimi sayıları; RTS eşik değeri 1600 bayt olarak seçildiğinde 0,67197 civarına, 800 bayt olarak seçildiğinde 0,42738 civarına, 400 bayt olarak seçildiğinde 0,46003 civarına, 200 bayt olarak seçildiğinde 0,44782 civarına, 1 bayt olarak seçilince 0,17072 civarına düşmüştür. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla artan ortalama yeniden iletim girişimi sayısı, RTS eşik değerlerinin kullanılması ile düşürülmüştür. Bu değer RTS eşik değeri 1 bayt olduğunda en düşük çıkmaktadır.



Şekil 6.14. RTS değerlerine göre yeniden iletim girişimi değişimi

### 6.3.5. RTS değerlerine göre birim zamandaki paket miktarı değişimi

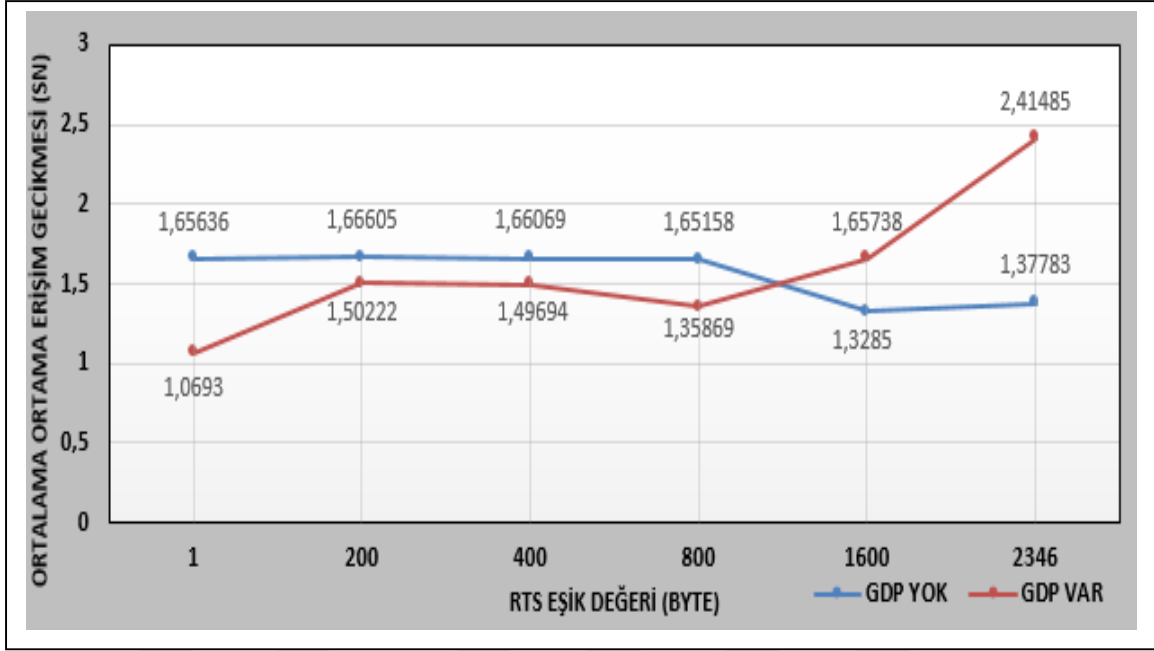
Şekil 6.15’de görüldüğü gibi gizli düğüm problemi yokken ve RTS eşik değeri uygulanmadan birim zamanda işlenen ortalama paket miktarı 838 935 bit/sn iken RTS eşik değeri 1 bayt olarak seçilince birim zamanda işlenen ortalama paket miktarı 850 279 bit/sn değerlerine yükselmiştir. Gizli düğüm problemi ortaya çıktığında RTS eşik değeri olmadan birim zamanda işlenen ortalama paket miktarı 518 237 bit/sn civarına düşmüştür. RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak seçildiğinde ise bu değer 518 237 bit/sn civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Birim zamanda işlenen ortalama paket miktarları; RTS eşik değerine 1600 bayt verildiğinde 789 097 bit/sn değerine, 800 bayt verildiğinde 829 985 bit/sn değerine, 400 bayt verildiğinde 836 714 bit/sn değerine, 200 bayt verildiğinde 841 944 bit/sn değerine, 1 bayt verildiğinde 844 377 bit/sn değerine yükselmiştir. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla düşen birim zamanda işlenen ortalama paket miktarı RTS eşik değerlerinin kullanılması ile arttırılmıştır. Bu değer RTS eşik değeri 1 bayt olduğunda en yüksek çıkmaktadır.



Şekil 6.15. RTS değerlerine göre birim zamandaki paket miktarı değişimi

### 6.3.6. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikmesi değişimi

Şekil 6.16’da görüldüğü gibi Ortalama Ortama Erişim Gecikmesinde (Media access delay), gizli düğüm probleminin olmadığı durumda RTS eşik değeri 1600 olarak seçildiğinde ortalama ortama erişim gecikmesi 1,32850 sn ile en düşük değerini almıştır. Gizli düğüm problemi ortaya çıktığında RTS eşik değeri kapalı iken bu değer 2,41485 sn civarına yükselmiştir. RTS eşik değeri, 2346 bayt olarak seçildiğinde 2,41485 sn civarında kalmış ve herhangi bir değişiklik olmamıştır. Farklı RTS eşik değerlerine göre elde edilen ortalama ortama erişim gecikmeleri ise RTS değeri 1600 bayt olarak seçildiğinde 1,65738 sn civarına, 800 bayt olarak seçildiğinde 1,35869 sn civarına, 400 bayt olarak seçildiğinde 1,49694 sn civarına, 200 bayt olarak seçildiğinde 1,50222 sn elde edilmiştir. RTS değerinin 1 bayt olarak seçilmesi durumunda ortalama ortama erişim gecikmesi yaklaşık 1,06930 sn değerine düşmüştür. Gizli düğüm probleminin ortaya çıkmasıyla artan Ortalama Ortama Erişim Gecikmesi RTS eşik değerlerinin kullanılması ile düşürülmüştür. Bu değer RTS eşik değeri 1 bayt olduğunda en düşük çıkmaktadır.

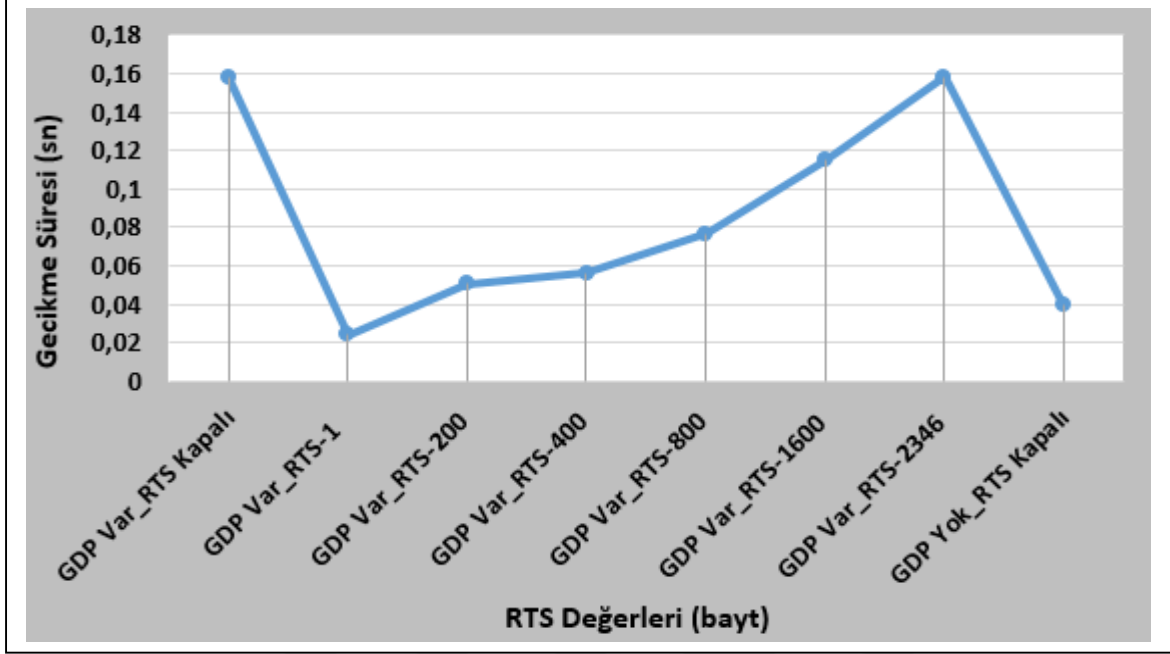


Şekil 6.16. RTS değerlerine göre ortama erişim gecikmesi değişimi

### 6.3.7. RTS değerlerine göre gecikmeler arasındaki farklılık değişimi

Şekil 6.17’de RTS eşik değeri değişimine göre receiver’ın aldığı veri çerçevelerinin gecikme süreleri arasındaki farklılığı ortaya koyan gecikmeler arasındaki farklılık grafiği gösterilmiştir. Birbiri ardına aktarılan veri çerçevelerinin iletim süreleri arasındaki fark ne kadar düşük olursa performans da o kadar daha yüksek olmaktadır. Çoklu ortam uygulamaları kullanılarak yapılan iletişimlerin kesintisiz bir biçimde devam edebilmesi için gecikmeler arasındaki farklılık metriğinin mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir. Gizli düğüm probleminin olmadığı durumda gecikmeler arasındaki farklılık değeri 0,039 sn iken gizli düğüm problemi ortaya çıktığında 0,158 sn değerine yükselmiştir. RTS eşik değeri; 2346 bayt olarak seçildiğinde gecikmeler arasındaki farklılık değeri 0,158 sn, 1600 bayt olarak seçildiğinde 0,114 sn, 800 bayt olarak seçildiğinde 0,076 sn, 400 bayt olarak seçildiğinde 0,056 sn, RTS eşik değeri 200 bayt seçildiğinde 0,050 sn gecikmeler arasındaki farklılık değeri ortaya çıkmıştır. RTS eşik değeri 1 bayt olarak seçildiğinde 0,024 sn ile en düşük gecikmeler arasındaki farklılık değeri alınmıştır. RTS/CTS mekanizmasının kullanılmasının performansı artırdığı tespit edilmiş ancak en iyi performansı bulabilmek amacıyla farklı RTS eşik değerleri denenmiştir. Sonuç olarak, gizli düğüm problemi varlığında RTS eşik değeri düşürüldükçe gecikmeler arasındaki farklılık metriği değeri de düşmektedir. Bu sebeple gizli düğüm

problemi varlığında RTS eşik değerinin 1 bayt olarak seçilmesinin ağın performansını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil 6.17. RTS değerlerine göre gecikmeler arasındaki farklılık değişimi

#### 6.4. Elde Edilen Sonuçlara Göre Uygun RTS Eşik Değerlerinin Seçimi

Bu çalışmada, tüm protokol ve modellerin kapsamlı bir şekilde kullanılmasına ve detaylı analiz yapılmasına olanak sağlayan OPNET benzetim programı kullanılmış ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlara göre kablosuz yerel alan ağlarında trafik türü olarak çoklu ortam uygulamaları kullanılırken gizli düğüm probleminin olmadığı durumlarda;

- Saniyede ortalama düşürülen paket bit miktarının düşük olması hedefleniyorsa RTS/CTS mekanizması kapalı olmalıdır.
- Ortalama gecikme süresinin düşük olması hedefleniyorsa RTS değeri 1600 olarak seçilmelidir.
- Ortalama ortama erişim gecikmesi parametresinin düşük olması ihtiyacı var ise RTS değeri 1600 olarak seçilmelidir.

- Ortalama yeniden iletim girişimi sayısı parametresinin düşük olması ihtiyacı var ise RTS/CTS mekanizması kapalı olmalıdır.
- Ortalama birim zamanda işlenen paket miktarı parametresinin yüksek olması ihtiyacı var ise RTS eşik değeri 1 bayt olarak seçilmelidir.

Gizli düğüm problemi yokken RTS eşik değerinin değişimi ile (1-200-400-800-1600-2346 bayt) ağ performansında dikkate değer bir artma ya da azalma olmamıştır. Meydana gelen küçük farklılıklar göz ardı edilebilir seviyededir.

Kablosuz yerel alan ağlarında trafik türü olarak çoklu ortam uygulamaları kullanılırken gizli düğüm probleminin ortaya çıktığı durumlarda;

- RTS eşik değeri 2346 bayt olarak seçildiğinde, RTS/CTS Mekanizmasının kapalı olması durumuyla aynı sonuçlar alınmıştır. Bu da veri çerçevesi uzunluğunun en fazla 2346 bayt seviyesine kadar çıkabildiğini ortaya koymaktadır.
- RTS eşik değeri düşürüldükçe en ideal çözüme yaklaşılarak ağ performansının yükseldiği tespit edilmiştir. Kablosuz yerel ağlarında MAC veri çerçevesi boyutu 34-2346 bayt arası değer alır [41]. Bu sebeple veri çerçevesinin boyutu 34 bayt ve daha düşük değer alamayacağından RTS eşik değerine 1-34 bayt arasında farklı değerler verilmesinin RTS/CTS mekanizmasının devreye sokulması ve ağ performansını iyileştirme açısından etkisi aynıdır. Bu sebeple en yüksek ağ performansına ulaşabilmek amacıyla en ideal RTS eşik değeri 1-34 bayt arasında seçilmelidir. RTS eşik değerine 1-34 bayt arasından değer seçildiğinde ortalama alınan veri trafiği en yüksek düzeye ulaşmış ve ağ performansı için en yüksek seviye bulunmuştur.

Gizli düğüm probleminin olmadığı durumla kıyaslandığında gizli düğüm probleminin ortaya çıkması ağ performansını ciddi oranda azaltmıştır. Gizli düğüm problemi varken RTS/CTS mekanizmasının kapalı olması ile birim zamanda işlenen paket miktarında en düşük, gecikme ve çarpışmada ise en yüksek değerlerin alınmasına sebep olmuştur. Gizli düğüm problemi olan ağlarda RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ağ performansını arttırmaktadır. RTS'ye verilen eşik değeri düşürüldükçe, ağda ki çarpışma miktarı azalmış, gecikme süreleri düşmüş alınan veri trafiği artmış ve sonuç olarak ağ performansında iyileşme sağlanmıştır.

### 6.5. Benzetim Sonuçlarının Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada çoklu ortam uygulamaları kullanıldığında gizli düğüm problemi yokken ve RTS kapalı iken receiver’ın aldığı trafik 790 000 bit/sn (%100) civarında iken gizli düğüm problemi ortaya çıktığında alınan trafik 91 000 bit/sn (%12) civarına düşmüştür. Çalışmada tavsiye edilen RTS değeri olan 1-34 arası bir değer kullanıldığında alınan trafik 710 000 bit/sn (%89) civarına çıkmıştır. Yapılan bu çalışma performansı %77 oranında artırdığından diğer çalışmalara oranla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. Diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

Makale	Trafik Türü	Düğüm Sayısı	Benzetim Aracı	RTS Eşik Değerleri	Tavsiye Edilen RTS Değeri	Gizli düğüm problemi varken RTS Kullanıldığında Performans Değişimi
Neeraj Poudyal [2]	FTP	3-11-19	Opnet Modeller	Kapalı-Açık (256)	Sadece 256 Denenmiş	%13 artış
Hetal Jasani [5]	Belirtilmemiş	3	Opnet Modeller	Kapalı-Açık	Belirtilmemiş	%37 artış
Hussian Ali [4]	File Transfer-Email - Web	2-10	Opnet Modeller	Kapalı-Açık (16-256)	16	%38 artış
Ha Cheol Lee[3]	FTP	3	Opnet Modeller	Kapalı-Açık	Belirtilmemiş	%45 artış
Bu Çalışmada	Video Konferans	6	Opnet Modeller	Kapalı-Açık (1-200-400-800-1600-2346)	1-34 arası	%77 artış



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, kablosuz yerel alan ağlarında çoklu ortam uygulamaları kullanılırken, gizli düğüm probleminin olmadığı ve gizli düğüm probleminin ortaya çıktığı durumlar için RTS/CTS mekanizmasının ağ performansına etkisi analiz edilmiştir. Birim zamanda işlenen paket miktarı, düşürülen paket miktarı, yeniden iletim girişimi sayısı, gecikme, alınan veri trafiği ve gecikmeler arasındaki farklılık parametreleri kullanılarak sonuçlar incelenmiş ve analiz edilmiştir.

IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağlarında, çoklu ortam uygulamaları için RTS/CTS mekanizmasının ağ performansında etkili olduğu ortaya konulmuştur. RTS/CTS mekanizması açıkken verilmiş olan RTS eşik değerinden daha büyük boyutta veri çerçevesi geldiğinde RTS/CTS mekanizması devreye girmektedir. RTS eşik değerlerinin birbirinden farklı değerler kullanılarak açık olduğu durumlar RTS/CTS mekanizmasının kapalı olduğu duruma göre % 0 - %77 arasında daha iyi performans sonucu vermektedir. Gizli düğüm problemi varlığında RTS'ye daha düşük eşik değerleri (2346 - 1600 - 800 - 400 - 200 - 1) verilmesi sonucu yükseltelen ağ performansı, gizli düğüm probleminin henüz ortaya çıkmadığı durumdaki ağ performansına yaklaşmakla beraber daha düşüktür. Kablosuz ağlarda çoklu ortam uygulamaları kullanılırken, RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ile gizli düğüm probleminin olmadığı duruma göre gizli düğüm probleminin yaşandığı ağlarda daha fazla performans artışı meydana gelmiştir.

RTS/CTS mekanizmasının kullanılması ağdaki veri çerçevelerinin çarpışmasını direkt olarak engellerken diğer performans parametrelerini dolaylı bir şekilde etkilemektedir. Çarpışmanın azalması, ortalama düşürülen paket miktarı (bit/sn), ortalama gecikme süresi (saniye), ortalama ortama erişim gecikmesi (saniye) ve ortalama yeniden iletim girişimi sayısının azalmasına sebep olur. Çarpışmanın azalması ayrıca, ortalama alınan veri trafiği (bit/sn) ve ortalama birim zamandaki paket miktarının (bit/sn) artmasına sebep olarak ağ performansının önemli oranda artmasına sebep olmuştur.

Veri çerçevesi çarpışmalarının çok olduğu ve aynı hedef düğüme veri gönderecek olan düğümlerin birbirlerinin kapsama alanı dışında olduğu durumlarda ortaya çıkan gizli düğüm probleminin bulunduğu ağlarda RTS/CTS mekanizmasının kullanılması önerilir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda, kablosuz yerel alan ağlarında trafik türü olarak çoklu ortam uygulamaları kullanılırken gizli düğüm probleminin olduğu durumda RTS'ye daha küçük eşik değerleri verildiğinde ağ performansının yükseldiği ve RTS eşik değerine 1-34 arası bir değer verildiğinde performansın %77 oranında arttığı göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekte kablosuz ağlarda haberleşme esnasında iletilen RTS, CTS, Veri ve ACK kontrol çerçevelerinin iletimi arasında ki geçen sürelerin (DIFS, SIFS) kısaltılarak ağ performansına etkisinin analiz edilmesi ve RTS/CTS mekanizmasının DDoS atakları olarak kullanılmasının engellenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.



## KAYNAKLAR

1. Khan, M. A., Khan, T. A. and Beg, M. T. (November 2012). RTS/CTS Mechanism of MAC Layer IEEE 802.11 WLAN in Presence of Hidden Nodes. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(5), 232-236.
2. Poudyal, N., Lee, H.C., Lee, B.S., Byun, Y. and Tao, E.Y. (15-18 Feb. 2009). The impact of RTS/CTS frames on TCP performance in mobile ad hoc-based wireless LAN. *11th IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 1554 - 1559.
3. Lee, H. C. (2010). The Effect of RTS/CTS Frames on the Performance of Ad Hoc-Based Mobile LAN. *3th IEEE International Conference on Advances in Mesh Networks*, 63-68.
4. Ali, M. H. and Odah, M. K. (2009). Simulation Study of 802.11b DCF Using OPNET Simulator. *Eng. & Tech. Journal*, 27(6), 1112 – 1117.
5. Jasani, H. and Alaraje, N. (2007). Evaluating the Performance of IEEE 802.11 Network using RTS/CTS Mechanism. *IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, 616-621.
6. Maraj, D. and Maraj, A. (September 2015). Performance analysis of WLAN 802.11 g/n standards using OPNET (Riverbed) application. *In ELMAR (ELMAR), 57th IEEE International Symposium*, 129-132.
7. Fettouh, A., El Kamoun, N., Latif, A., and El Fazziki, A. (2011). Mobility Management in Ambient Networks: Performance Optimization of Homogeneous Wireless Network. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications (IJCISIM)*, ISSN 2150-7988, 3, 507-513.
8. Cheng, Y. J. (2008). *The Impact of RTS/CTS Exchange on the Performance of Multi-rate IEEE 802.11 Wireless Networks*. Doctoral dissertation, Indiana University South Bend.
9. Habib, G. and Bassil, C. (2-5 Sept 2013). Influence of the RTS/CTS in VANET”, *13th IEEE Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, 1-4.
10. Patel, K. I., and Vegad, M. M. (July 2013). Effectiveness of RTS/CTS in IEEE 802.11 wireless adhoc network in light of order dependent capture. *In Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 4th IEEE International Conference on*, 1-6.
11. Manitpornsut, S., Landfeldt, B. and Boukerche, A. (September 2011). Improving densely deployed wireless network performance in unlicensed spectrum through hidden-node aware channel assignment. *Performance Evaluation Journal (Elsevier ScienceDirect)*, 68(9), 825–840.
12. Wu, Chien-Min. and Hou, Ting-Chao. (2005). The impact of RTS/CTS on performance of wireless multihop ad hoc networks using IEEE 802.11 protocol. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conference on*, 4, 3558–3562.
13. Ocak, O. (Temmuz 2009). *Kablosuz Ağların Askeri Ortamlarda Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.

14. Gezin, D.M. (2011). *Kablosuz Ağ Teknolojileri Ve Şifreleme*. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
15. Alagöz, F. (2005). *Mobil Ağlar ve Veri Erişim Stratejileri*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
16. Tuğral, N. (Haziran 2006). *Kablosuz Bilgisayar Ağlarının Karşılaştırmalı İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
17. Yiğit, E. (2008). *Kablosuz Ağlardan Çoklu Ortam İletimi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
18. Erkinay Z. M. (2005). *Kablosuz Ağlar (wireless networks) ve Kablosuz Ağlarda Güvenlik*. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
19. Temel, Ş. (Nisan 2015). *Çoklu İnsansız Hava Araçları Arası Altyapısız Ağlar İçin Yeni Bir Konum Bilgisi Paylaşım ve Yönlü Ortam Erişim Kontrol Protokolü*, Doktora Tezi, Hava Harp Okulu, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.
20. Kumar, S., Raghavan, V. S. and Deng, J. (May 2006). Medium Access Control protocols for ad hoc wireless networks: A survey. *Ad Hoc Networks Journal (Elsevier ScienceDirect)*, 4(3), 326–358.
21. Matoba, A., Hanada, M., Moon, H. and Kim, M. W. (2014). Asymmetric RTS/CTS in ad hoc Wireless LAN. *Advanced Communication Technology (ICACT), 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on*, 575-578.
22. Bayılmış, C. (2003). *Kablosuz Bilgisayar Ağlarının Performans Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
23. Lauwens, B., Scheers, B. and Van de Capelle, A. (2010). Performance analysis of unslotted CSMA/CA in wireless networks. *Telecommunication Systems*, 44(1-2), 109-123.
24. Gezin, D.M. (2011). *Kablosuz Ağ Teknolojileri ve Şifreleme*. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
25. Solak, S. (2008). *Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kullanılan Mac Protokollerinin Karşılaştırmalı Başarım Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
26. Balık H. H. (2011). *Kablosuz Ağ Protokolleri Dersi*, Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Paralel Mimariler ve Sayısal Haberleşme Dersi Ders notları. Edirne.
27. Mawlawi, B. and Dor'e, J. B. (24-28 August 2015). CSMA/CA with RTS/CTS Overhead Reduction for M2M Communication with Finite Retransmission Strategy. *IEEE International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, 1107 – 1111.
28. Chang, X. (1999). Network Simulations With Opnet. *Proceedings of the 31st Conference on Winter Simulation*, 1. ACM, 307 – 313.
29. Bıyan, M. and Alan, M. A. (2013). Bilgisayar Ağının Modellenmesi ve Uzaktan Eğitim için Performans Ölçümü. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, II, 99-111.

30. Bayılmış, C. (2009). *Modelleme ve Simülasyon Teorisi ve Uygulamaları*, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ders notları, Sakarya.
31. Akbaş, D. (2010). *Bir Kurumsal Ağın ve Güvenlik Yapılarının Modellenmesi ve Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
32. Bandırmalı, N., Çeken, C., Bayılmış, C. ve Ertürk, İ. (2006). Video Trafikinin Kablosuz ATM Ortam Erişim Kontrol Mekanizmalarına Etkisinin Karşılaştırmalı İncelemesi. *Politeknik Dergisi*, 9(3), 175-180.
33. Küçük, K., Bandırmalı, N. ve Kavak, A. (April 2012). Algılayıcı Ağlarda Opnet Kullanarak İyileştirilmiş STKB Tekniğinin Başarım Değerlendirmesi. *20th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 4, 18-20.
34. Karahan, A., Ertürk, İ., Atmaca, S. and Çakıcı, S. (16-18 May 2011). Melez Bir Kablosuz Algılayıcı Ağ OEK Protokolü. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 168-171.
35. OPNET. (2006). *OPNET Modeler 11.5 Documentation*. OPNET Technologies, Release 11.5.
36. Aboelela, E. (2003). *Network Simulation Experiments Manual* University of Massachusetts Dartmouth, Second Edition, 0-12-042171-2.
37. Youssef, M. I., Emam, A. E. and Elghany, M. A. (2009). Direct Sequence Spread Spectrum Technique with Residue Number System. *International Journal of Electrical, Computer and Systems Engineering*, 3(4), 223–230.
38. Salameh, H. B. (2015). Spread Spectrum-Based Coordination Design for Spectrum-Agile Wireless Ad hoc Networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 57, 192-201.
39. Kang, T., Li, X., Yu, C. and Kim, J. (2013). A Survey of Security Mechanisms with Direct Sequence Spread Spectrum Signals. *Journal of Computing Science and Engineering*, 7(3), 187-197.
40. Borsuk, B., Koçak C. (2016). Kablosuz Ağlarda Gizli Düğüm Probleminde IEEE 802.11 MAC Katmanı RTS/CTS Mekanizmasının Çoklu Ortam Uygulamalarında Performansa Etkisi, *International Journal of Informatics Technologies*, 9(2), 187-195.
41. Katsaounis, G., Tsilomitrou, O. and Manesis, S. (16-19 June 2014). A Wireless Sensors and Controllers Network in Automation A Laboratory-Scale Implementation for Students Training. *Control and Automation (MED)*, *22nd IEEE Mediterranean Conference on*, 1067 - 1073.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BORSUK, Bekir  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 27.09.1985, Eskişehir  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0507 747 37 07  
 e-mail : bekir.borsuk@gazi.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Bilgisayar Mühendisliği	2016
Lisans	Hava Harp Okulu/Bilgisayar Müh.	2008
Lise	H. Ahmet Kanatlı Lisesi(YDA)	2003

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2013	Hv.K.Bil.Sis. (ANKARA)	SAP HR Yazılım Müh.
2013-Halen	Hv.K.Bil.Sis. (ANKARA)	SAP FI Modül Yntc.

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- Borsuk, B., Koçak C. (2016). Kablosuz Ağlarda Gizli Düğüm Probleminde IEEE 802.11 MAC Katmanı RTS/CTS Mekanizmasının Çoklu Ortam Uygulamalarında Performansa Etkisi, *International Journal of Informatics Technologies*, 9(2), 187-195.

### Hobiler

Doğa gezilerine katılmak, kayak yapmak, film izlemek, yürüyüş, koşu, futbol



*GAZİ GELECEKTİR..*